

UNIVERSITÉ DE NANTES  
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

2019

N° 3541

**DIFFERENTS TYPES DE SUPPORTS NUMERIQUES DANS  
L'APPRENTISSAGE DE L'ANATOMIE CERVICOCEPHALIQUE**

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE  
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

*Présentée  
et soutenue publiquement par*

**RENARD Lorraine**  
Née le 04 octobre 1992

*Le 22/05/2019 devant le jury ci-dessous*

*Président* : M. Le Professeur Giumelli Bernard  
*Assesseur* : Mme. Le Docteur Enkel Bénédicte  
*Assesseur* : M. Le Docteur Kimakhe Said

*Directeur de thèse* : Mme. Le Docteur Fabienne Jordana

<b>UNIVERSITE DE NANTES</b>	
<u>Président</u> Pr LABOUX Olivier	
	
<b>FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE</b>	
<u>Doyen</u> Pr GIUMELLI Bernard	
<u>Assesseurs</u> Dr RENAUDIN Stéphane Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre	
	
<b>PROFESSEURS DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.</b>	
Mme ALLIOT-LICHT Brigitte	M. LESCLOUS Philippe
M. AMOURIQ Yves	Mme PEREZ Fabienne
M. BADRAN Zahi	M. SOUEIDAN Assem
M. GIUMELLI Bernard	M. WEISS Pierre
M. LE GUEHENNEC Laurent	
<b>PROFESSEURS DES UNIVERSITES</b>	
M. BOULER Jean-Michel	
<b>MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES</b>	
Mme VINATIER Claire	
<b>PROFESSEURS EMERITES</b>	
M. BOHNE Wolf	M. JEAN Alain
<b>PRATICIENS HOSPITALIERS</b>	
Mme DUPAS Cécile (Praticien Hospitalier)	Mme QUINSAT Victoire (Praticien Hospitalier)
Mme HYON Isabelle (Praticien Hospitalier Contractuel)	Mme RICHARD Catherine (Praticien Attaché)
Mme LEROUXEL Emmanuelle (Praticien Hospitalier)	
<b>MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.</b>	<b>ASSISTANTS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES DES C.S.E.R.D.</b>
M. AMADOR DEL VALLE Gilles	M. ALLIOT Charles
M. ARMENGOL Valérie	M. AUBEUX Davy
Mme BLERY Pauline	Mme BARON Charlotte
M. BODIC François	Mme BEURAIN-ASQUIER Mathilde
Mme CLOITRE Alexandra	M. BOUCHET Xavier
Mme DAJEAN-TRUDAUD Sylvie	Mme BRAY Estelle
Mme ENKEL Bénédicte	M. GUIAS Charles
M. GAUDIN Alexis	M. HUGUET Grégoire
M. HOORNAERT Alain	M. KERIBIN Pierre
Mme HOUCHMAND-CUNY Madline	Mme LE LAUSQUE Julie
Mme JORDANA Fabienne	Mme LEMOINE Sarah
M. KIMAKHE Saïd	M. NEMIROVSKY Hervé
M. LE BARS Pierre	M. OUVREARD Pierre
Mme LOPEZ-CAZAUX Serena	M. RETHORE Gildas
M. NIVET Marc-Henri	M. SARKISSIAN Louis-Emmanuel
Mme RENARD Emmanuelle	Mme WOJTIUK Fabienne
M. RENAUDIN Stéphane	
Mme ROY Elisabeth	
M. STRUILLOU Xavier	
M. VERNER Christian	
<b>ENSEIGNANTS ASSOCIES</b>	
M. GUIHARD Pierre (Professeur Associé)	Mme LOLAH Aoula (Assistant Associé)
Mme MERAMETDJIAN Laure (Maître de Conférences Associé)	

27/03/2011

**Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.**

**A Monsieur le Professeur Bernard GIUMELLI,**

Doyen de l'UFR Odontologie de Nantes  
Département de Prothèses

- NANTES -

*Pour avoir accepté de présider cette thèse.  
Pour la qualité de votre enseignement.  
Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma profonde reconnaissance et de mes plus  
respectueux remerciements.*

**A Madame Le Docteur Fabienne JORDANA,**

Maître de Conférences des Universités  
Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires  
Docteur de l'Université de Bordeaux  
Département de Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux,  
Biophysique, Radiologie.

- NANTES -

*Pour m'avoir fait l'honneur de diriger ce travail.  
Pour votre disponibilité, votre implication et votre patience tout au long de la réalisation de  
cette thèse.  
Pour votre accompagnement, vos lectures attentives et conseils avisés.  
Pour la qualité de vos enseignements cliniques et théoriques tout au long de mon cursus.  
Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.*

**A Madame le Docteur Bénédicte ENKEL,**  
Maître des Conférences des Universités  
Praticien Hospitalier des centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires  
Docteur de l'Université de Nantes  
Ancien Interne des Hôpitaux de Nantes  
Département d'Odontologie Conservatrice-Endodontie

- NANTES -

*Pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury.  
Pour la qualité de vos enseignements cliniques et théoriques ainsi que pour votre  
disponibilité et votre bienveillance tout au long de mon cursus.  
Veuillez recevoir à travers ce travail l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.*

**A Monsieur le Docteur Said KIMAKHE,**  
Docteur en Chirurgie Dentaire  
Maître de Conférence des Universités  
Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherches Dentaires  
Docteur de l'Université de Nantes  
Département de Chirurgie Buccale-Pathologie et Thérapeutique-Anesthésiologie et  
Réanimation

- NANTES -

*Pour avoir accepté de siéger au sein de ce jury.  
Pour la qualité de votre enseignement clinique et théorique, ainsi que pour vos conseils  
avisés.  
Veuillez recevoir à travers ce travail l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.*

## TABLE DES MATIERES

<b>PREMIERE PARTIE : L'APPRENTISSAGE DE L'ANATOMIE .....</b>	<b>11</b>
<b>1 DEFINITIONS .....</b>	<b>11</b>
<b>2 HISTOIRE DES SCIENCES ANATOMIQUES.....</b>	<b>11</b>
2.1 L'ANTIQUITE (TREPANATION, REPRESENTATIONS, MODIFICATIONS CORPORELLES) .....	11
2.1.1 <i>Notions d'anatomie durant la période préhistorique</i> .....	11
2.1.2 <i>La médecine dans l'Égypte antique (4 000 av. J.-C. à 525 av. J.-C.)</i> .....	13
2.2 L'ANTIQUITE GRECQUE .....	13
2.2.1 <i>La période archaïque (VII<sup>ème</sup> -V<sup>ème</sup> av. J.-C.)</i> .....	13
2.2.2 <i>La période classique (V<sup>ème</sup>-IV<sup>ème</sup> av. J.-C.)</i> .....	14
2.2.3 <i>La période hellénistique (331-323 av. J.-C. - 30 av. J.-C.)</i> .....	14
2.3 L'ANTIQUITE ROMAINE (753 av.J.-C. - 476 AP.J.-C.) .....	14
2.4 LE MOYEN-ÂGE ET SES INTERDITS .....	15
2.4.1 <i>L'influence chrétienne dans l'enseignement</i> .....	15
2.4.2 <i>Évolution des interdits en anatomie humaine</i> .....	16
2.5 LA RENAISSANCE (1300-1600) .....	16
2.5.1 <i>André Vésale (1514 -1564)</i> .....	17
2.5.2 <i>Ambroise PARE (1510-1590)</i> .....	18
<b>3 L'APPRENTISSAGE ET L'ENSEIGNEMENT.....</b>	<b>19</b>
3.1 DEFINITIONS .....	19
3.1.1 <i>L'apprentissage</i> .....	19
3.1.2 <i>L'enseignement</i> .....	19
3.2 L'ENSEIGNEMENT .....	19
3.3 LES GRANDS COURANTS DE L'APPRENTISSAGE .....	20
3.3.1 <i>Behaviorisme (behavior : le comportement)</i> .....	20
3.3.2 <i>Le gestaltisme ou psychologie de la forme</i> .....	21
3.3.3 <i>Le cognitivisme</i> .....	21
3.3.4 <i>Le constructivisme</i> .....	21
3.3.5 <i>Le socio-constructivisme</i> .....	21
3.3.6 <i>Le connectivisme</i> .....	22
3.4 CONCLUSION ET EVOLUTION DES SYSTEMES D'APPRENTISSAGE .....	22
3.5 LE TUTEUR DANS L'ENSEIGNEMENT EN LIGNE .....	22
<b>DEUXIEME PARTIE : LES SUPPORTS NUMERIQUES D'APPRENTISSAGE .....</b>	<b>24</b>
<b>1 HISTORIQUE.....</b>	<b>24</b>
<b>2 DEFINITIONS, NOTIONS ET CARACTERISTIQUES .....</b>	<b>24</b>
2.1 SUPPORTS NUMERIQUES .....	24
2.2 APPRENTISSAGE EN LIGNE .....	24
2.3 LES FORMATION OUVERTE ET A DISTANCE (FOAD) .....	25
2.3.1 <i>Différence FOAD et e-learning</i> .....	25
<b>3 MODELES GENERAUX DE SUPPORTS NUMÉRIQUES D'APPRENTISSAGE .....</b>	<b>26</b>
3.1 LES MODELES SELON BERSIN.....	26
3.2 LES FORMATIONS EN LIGNE OU <i>E-LEARNING SELF STUDY</i> .....	26
3.3 LES FORMATIONS MIXTES OU <i>BLENDED LEARNING</i> .....	26
3.4 LES FORMATIONS INFORMELLES, ON-THE-JOB TRAINING OU EMBEDDED E-LEARNING.....	27
3.4.1 <i>La formation pratique ou on-the-job training</i> .....	27
3.4.2 <i>L'apprentissage intégré ou embedded e-learning</i> .....	27
3.5 LES COURS EN LIGNE OUVERTS A TOUS (MOOC) .....	27
3.5.1 <i>Les xMOOC</i> .....	27

3.5.2	Les cMOOC.....	28
<b>4</b>	<b>MISE EN PLACE DES SUPPORTS NUMERIQUES DANS L'APPRENTISSAGE/ DANS LE DOMAINE DE LA SANTE</b>	<b>28</b>
4.1	TECHNIQUES D'APPRENTISSAGE ACTUELLES .....	28
4.1.1	Cours présentiels et conférences.....	28
4.1.2	Séances de dissection.....	29
<b>5</b>	<b>L'APPRENTISSAGE NUMERIQUE DE L'ANATOMIE CERVICO-CEPHALIQUE.....</b>	<b>29</b>
5.1	UTILISATION DE LOGICIELS TRIDIMENSIONNELS.....	29
5.1.1	Exemple 1 : Les structures corporelles virtuelles tridimensionnelles basée sur le Web ou Web-based three-dimensional Virtual Body Structures (W3D-VBS) (55) .....	29
5.1.2	Exemple 2 : Programme d'apprentissage « Disect » (63).....	35
5.1.3	Exemple3 : la modélisation tridimensionnelle de l'oreille externe et de l'os temporal. (64).....	36
5.2	UTILISATION D'IMAGERIE INTERACTIVE.....	38
5.2.1	Les vidéos.....	38
5.2.2	Images d'anatomie interactives (53).....	40
5.3	EMPLOI DE L'ECHOGRAPHIE ET DES ULTRASONS .....	45
5.3.1	Introduction.....	45
5.3.2	Réalisation.....	45
5.3.3	Résultats.....	46
5.4	SITE DE DISSECTION VIRTUELLE .....	49
5.5	LA REALITE VIRTUELLE .....	50
5.5.1	Mise en œuvre et conception.....	50
5.5.2	Fonctionnement.....	51
5.5.3	Les différentes applications de ce type de projet.....	52
5.6	COURS EN LIGNE, MOOC .....	52
5.6.1	MOOC FOVEA (Formation Ouverte par le Virtuel en e-learning en Anatomie).....	53
5.7	LES APPLICATIONS SUR SMARTPHONES / APPRENTISSAGE SUR MOBILE .....	54
5.7.1	Introduction.....	54
5.7.2	Exemple d'application .....	55
5.7.3	Résultats de l'utilisation des applications mobiles.....	56
<b>6</b>	<b>EVOLUTION.....</b>	<b>56</b>
<b>TROISIEME PARTIE : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES SUPPORTS NUMERIQUES .....</b>		<b>57</b>
<b>1</b>	<b>AVANTAGES DES SUPPORTS NUMERIQUES.....</b>	<b>57</b>
1.1	ACCESSIBILITE.....	57
1.2	INDEPENDANCE DE L'APPRENANT.....	57
1.3	RENTABILITE .....	57
1.4	FLEXIBILITE .....	58
1.5	CONTENU QUALITATIF .....	58
1.6	FACILITE DE LA MISE EN PLACE ET DE L'UTILISATION .....	58
1.7	SYSTEME D'EVALUATION VARIE .....	58
1.8	LUDIQUE ET INNOVANT .....	58
<b>2</b>	<b>INCONVENIENTS DES SUPPORTS NUMERIQUES.....</b>	<b>60</b>
2.1	FREINS ECONOMIQUES.....	60
2.1.1	L'infrastructure (installation, équipement et logiciels).....	60
2.1.2	La conception et la gestion des contenus (créateur, hébergeur et administrateurs) .....	61
2.1.3	Le service lié aux prestations proposées dans le dispositif .....	61
2.2	FREINS PEDAGOGIQUES.....	61
2.2.1	Formation des enseignants.....	61
2.2.2	Isolement de l'apprenant.....	61
2.2.3	Prérequis à l'utilisation des outils numériques.....	62
2.2.4	Défauts haptiques des systèmes numériques .....	62
2.3	FREINS ORGANISATIONNELS .....	62

2.4	FREINS JURIDIQUES .....	62
2.4.1	<i>Droits d'auteurs</i> .....	62
2.4.2	<i>Le plagiat</i> .....	63
2.4.3	<i>Secret médical</i> .....	63
<b>3</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>64</b>
	<b>TABLE DES FIGURES</b> .....	<b>65</b>
	<b>TABLE DES TABLEAUX</b> .....	<b>67</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>68</b>

## PREMIERE PARTIE : L'APPRENTISSAGE DE L'ANATOMIE

### 1 DEFINITIONS

L'anatomie est la science qui a pour objet l'étude de la forme et de la structure des êtres organisés, et celle des rapports des organes qui les constituent. On peut parler d'anatomie humaine, animale et végétale. (1)

Pendant une très longue période, l'anatomie animale a été utilisée pour transposer les données découvertes à celle de l'homme, résultant de nombreuses erreurs qui ne seront corrigées que tardivement. Nous allons ici nous intéresser à l'évolution temporelle de la transmission des connaissances anatomiques humaines (en Europe et dans le bassin Méditerranéen) et essayer de comprendre l'influence qu'elle a pu avoir sur les progrès de la médecine et de la chirurgie.

### 2 HISTOIRE DES SCIENCES ANATOMIQUES

La transmission d'informations concernant l'apprentissage des sciences anatomiques s'est faite oralement et les premières traces écrites n'ont pas toutes survécu au temps. Néanmoins, grâce à l'archéologie et ses nombreuses découvertes, il est aujourd'hui possible de déterminer quels types de connaissances possédaient nos ancêtres.

#### 2.1 **L'Antiquité (trépanation, représentations, modifications corporelles)**

##### 2.1.1 Notions d'anatomie durant la période préhistorique

###### 2.1.1.1 Étude de la paléopathologie

La découverte de squelettes ayant subi différents types d'opérations chirurgicales et datés du néolithique (8000 av. J.-C.) laisse à penser que les connaissances anatomiques de cette époque étaient déjà évoluées. Les os gardant la trace de ces interventions, la paléopathologie (l'étude des caractères pathologiques observés sur les fossiles humains par l'examen du squelette (2)) est une source fiable pour observer les traces des actes médicaux sur cette période. Des recherches sur le site de Buthiers-Boulancourt (Seine-et-Marne) ont notamment mis au jour un squelette d'un homme âgé ayant subi une amputation de l'avant-bras gauche il y a 6 900 ans. (3)

D'autres interventions chirurgicales étaient fréquemment réalisées à cette période, notamment les trépanations.

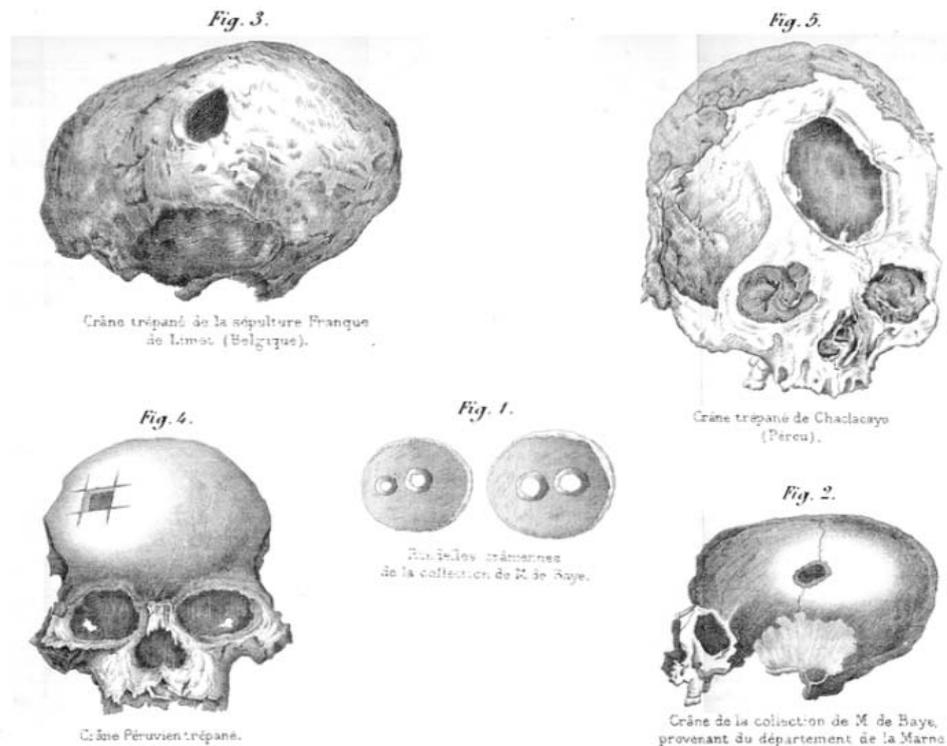
###### 2.1.1.2 La trépanation

Des traces de cette opération chirurgicale sont découvertes un peu partout dans le monde. La trépanation consiste à pratiquer une ouverture dans un os (en particulier la boîte crânienne) à l'aide d'un trépan. (4)

D'après Paul Broca, médecin, anatomiste et anthropologue du 19<sup>ème</sup> siècle, (5) il semble se distinguer deux types de trépanations : la trépanation réalisée du vivant de la personne, le plus souvent à but thérapeutique et la trépanation post-mortem.

Les trépanations à visée thérapeutique sont en général pratiquées sur l'os pariétal ou l'os occipital, le plus souvent au niveau de la suture, plus rarement sur l'os temporal ou l'os frontal, elles sont de forme ovale, en cercle ou même carrée. Elles sont réalisées dans les cas d'ostéites, de nécrose, contusions (afin de retirer des fragments osseux) et hydrocéphalie. Elles semblent

aussi avoir été pratiquées dans le but de soigner des cas de convulsions, céphalées ou de folie ou dans un contexte plus mystique (communication avec les esprits). (6)  
 Le rôle des trépanations post-mortem est plus mystérieux. Elles ont pu être réalisées pour des raisons mystique, spirituelle, faciliter la communication avec les esprits ou encore afin d'utiliser les rondelles crâniennes comme des amulettes (voir figure 1 ci-dessous). (6)



- Figure 1. Rondelles crâniennes de la collection de M de Baye (6)
- Figure 2. Crâne de la collection de M de Baye, provenant du département de la Marne (6)
- Figure 3. Crâne trépané de la sépulture Franque de Limet (Belgique) (6)
- Figure 4. Crâne Péruvien trépané (6)
- Figure 5. Crâne trépané de Chaclacayo (Pérou) (6)

McCurdy (7) a étudié la létalité d'une telle intervention. Il rapporte que sur 45 crânes étudiés, 26 ont survécu à l'opération, 11 montrent des signes de guérison partielle et seulement 8 sont morts durant l'opération. Ces chiffres traduisent des résultats étonnamment bons.  
 De telles interventions attestent d'une grande habilité technique et d'une bonne connaissance anatomique de la zone cervico-céphalique. Mais les premières traces écrites de cette communication de savoirs anatomiques sont peu nombreuses à avoir résisté au temps.

## 2.1.2 La médecine dans l'Égypte antique (4 000 av. J.-C. à 525 av. J.-C.)

### 2.1.2.1 Les premiers écrits médicaux

L'exercice de la médecine égyptienne s'étend sur près de 5000 ans et nous offre certaines des plus anciennes traces d'écrits anatomiques. En effet, les connaissances continuent de se transmettre par voie orale mais sont aussi transmises par des manuscrits sur cuir ou sur papyrus, des peintures et des objets.

A ce jour, une quinzaine d'écrits médicaux ont été retrouvés. Le plus important est le papyrus d'Ebers. Daté de 1 550 av. J.-C., il contient des passages copiés remontant à 2670-2160 av. J.-C. Il expose des notions d'anatomie, des cas pathologiques et leur traitement ainsi que près de 700 mélanges médicamenteux. (8)



Figure 6. Extrait du papyrus d'Ebers, conservé à Leipzig (9)

### 2.1.2.2 La médecine dans l'Égypte antique

La transmission de ce savoir médical se faisait, de père en fils ou au sein d'une même caste, ou encore dans les écoles du Palais (Héliopolis ou Saïs). L'enseignement des jeunes médecins pouvait aussi se compléter dans des « maisons de vie » où étaient rédigés les écrits médicaux. (10)

L'essentiel des documents retrouvés ne sont pas des traités théoriques mais plutôt des livres de pratique médicale auxquels les médecins se référaient. En effet, les médecins égyptiens ne pratiquant pas la dissection, les connaissances anatomiques et physiologiques sont assez élémentaires. Elles sont principalement apportées par les embaumeurs chargés de pratiquer l'éviscération et la momification des défunts. Même si certains organes et leurs fonctions étaient connus, les croyances religieuses poussent à considérer le corps comme démuné de propriété intrinsèque et dépendant des forces supérieures. (11)

## 2.2 L'antiquité Grecque

### 2.2.1 La période archaïque (VIII<sup>ème</sup> -V<sup>ème</sup> av. J.-C.)

En Grèce, les divinités ont un rôle important dans les traitements médicaux. Néanmoins, même si on prête des qualités de guérison à de nombreux dieux, le culte d'Asclépios (dit aussi Asklépios ou Esculape) reste le plus important. L'exercice de la médecine appartient aux prêtres, les Asclépiades. A partir du VIII<sup>ème</sup> siècle, les temples de soins et de diagnostic se développent. Petit à petit, les prêtres médecins s'éloignent du caractère mystique de leurs traitements pour se rapprocher de moyens non magiques. Il s'établit alors des écoles médicales

souvent rivales entre elles et inspirées par une doctrine philosophique déterminée. Au VI<sup>e</sup> et V<sup>e</sup> siècles, trois écoles médicales fameuses se développent dans les cités insulaires ou péninsulaires de la côte méridionale d'Asie Mineure : à Rhodes, à Cnide et à Cos. L'organisation de cette dernière va être bouleversée par les idées d'Hippocrate. (12)

### 2.2.2 La période classique (V<sup>e</sup>-IV<sup>e</sup> av. J.-C.)

A la période classique, la médecine perd son aspect divinatoire pour devenir plus rationnelle. Elle fait son apparition avec Hippocrate (460-356 av. J.-C.), lui-même issu d'une famille d'Asclépiades. Il théorise la pratique médicale en établissant des méthodes basées sur l'observation des malades, en classant les pathologies et inculque ses préceptes à ses disciples. Cet enseignement nous est rapporté aujourd'hui grâce au Corpus Hippocratique (en latin *Corpus Hippocraticum*) qui contient des manuels, des conférences, des études, des notes ainsi que des essais philosophiques sur des sujets médicaux très variés.

Ses maximes seront ainsi apprises et transmises jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle et cette technique d'apprentissage basée sur l'apprentissage par cœur perdurera tout au long de l'histoire du métier de médecin. (13)

### 2.2.3 La période hellénistique (331-323 av. J.-C. - 30 av. J.-C.)

L'époque hellénistique est considérée comme la plus fertile pour l'avancée des connaissances anatomiques notamment avec une volonté de la part d'Alexandrie d'enrichir le corpus médical au sein de la grande bibliothèque par les dissections et la création d'une école de médecine.

La médecine se divise alors en deux groupes. Les anatomistes comme Hérophile (-340 env. à -300) qui étudie le système nerveux central et qui est l'un des premiers à s'intéresser au corps en bonne santé et plus seulement aux origines et traitements des maladies. C'est l'approche dite épistémique de la médecine dont fait également partie Érasistrate (- 310 env. à -250) qui entrevoit le principe de circulation sanguine. Et d'autre part, les physiciens, pharmacologues qui s'intéressent à la connaissance des mécanismes du corps, des substances et des plantes.

La plupart des médecins formés à Alexandrie viendront s'installer à Rome où leurs carrières seront mieux reconnues. (12)

## 2.3 L'antiquité Romaine (753 av.J.-C. - 476 ap.J.-C.)

Parmi ces médecins grecs, Claude Galien ou Claudius Galenus (131 à 201) s'installe à Rome en 163 où il devient célèbre auprès de la haute société romaine en réalisant des diagnostics précis mais surtout pour ses dissections et vivisections publiques à visée éducative.



Figure 7. Gravure de Claude Galien (14)

Ces démonstrations anatomo-physiologiques sont effectuées sur des chèvres, singes chiens, porcs et même sur un éléphant car les autopsies humaines étaient interdites. Si elles lui permettent de mettre en avant le fonctionnement du système nerveux, la circulation du sang et

le contrôle des muscles, la transposition de l'anatomie animale vers l'homme lui fait énoncer des erreurs qui ne seront corrigés qu'à la Renaissance (il fait du foie le centre de la circulation sanguine, il décrit une communication interventriculaire, l'utérus humain comme bifide et un dédoublement des voies biliaires). Dans son schéma de physiologie humaine, Galien reprend la théorie des humeurs précédemment développée par Hippocrate.

Claude Galien a écrit près de cinq cent textes sur les thèmes de la médecine, la philosophie et l'éthique. Si la plupart disparaissent dans un incendie en 192, les ouvrages restants sont traduits dans plusieurs langues. Ses textes philosophiques mettent en avant le concept selon lequel les objectifs de Dieu sont explicables par l'observation de la Nature et sa croyance en un dieu unique, créateur de l'homme incitera l'Église à adopter ces principes. Ainsi, pendant plusieurs siècles, mettre en doute les notions médicales apportées par Galien était considéré comme s'opposer à la religion et au pouvoir ecclésiastique en place. (12)

## 2.4 Le Moyen-Âge et ses interdits

### 2.4.1 L'influence chrétienne dans l'enseignement

L'établissement de la chrétienté en Occident à partir de la fin du IIème siècle impacte la société dans de nombreux domaines dont celui de la médecine et des sciences anatomiques. En effet, l'Église détient un grand nombre des richesses et une place centrale en politique, ce qui lui octroie une grande influence.

L'apprentissage de la médecine et sa pratique sont donc fortement liés aux mouvements chrétiens, les hôpitaux sont dirigés par des religieux, les dissections interdites et les écrits sont contrôlés par le clergé. Pendant longtemps, les ordres religieux sont ainsi les seuls à assurer la formation des médecins et les soins des malades. Durant cette période, les notions médicales sont communiquées par des copies calligraphiées de textes latins. Ainsi, entre l'époque de Galien et la fin du Moyen-Âge la pathologie n'a pas été plus développée que l'anatomie et la physiologie, seule l'étude de l'anatomie végétale et la botanique semble progresser, notamment grâce à l'utilisation des « simples » dans la thérapeutique. La chirurgie ne fera pas de progrès notables avant Ambroise Paré, et tant que les anatomistes de la Renaissance ne lui auront pas ouvert de nouvelles possibilités. (12)



Figure 8. Livre des simples médecines. Chêne à galle et gallitricum. (15)

#### 2.4.2 Évolution des interdits en anatomie humaine

Il faudra attendre le XI<sup>ème</sup> siècle, pour qu'à Salerne (Italie) renaisse une école de médecine. On y enseigne uniquement la médecine et les enseignants ne sont pas des clercs mais des laïcs. Pendant plusieurs siècles l'Italie du sud sera ainsi le lieu de ce que l'on pourrait appeler la Renaissance de la médecine. (12)

Au XII<sup>ème</sup> siècle, en partie sous l'influence de Salerne, l'église évolue, la dissection du corps humain est autorisée et de nombreux clercs sont appelés à pratiquer la médecine. (12)

Le XIII<sup>ème</sup> siècle marque dans l'histoire de la connaissance une étape des plus importantes. Dans une société médiévale en évolution, les laïcs désirent apprendre et s'émanciper du cadre conventionnel, ce qui aboutit à la création de centres d'enseignements. C'est en effet le siècle où éclosent partout en Europe les premières universités.

Le pouvoir ecclésiastique n'en conserve pas moins un contrôle sur les enseignements, il limite les avancées en imposant la scolastique dans la formation des médecins. Cette philosophie a pour caractéristique de tenter d'accorder les dogmes chrétiens et la Révélation en s'appuyant sur les méthodes d'argumentation aristotélicienne. Cela entraîne un immobilisme de la connaissance médicale.

Pour être admis dans les Facultés à la fin du XIV<sup>ème</sup>, la quinzaine d'étudiants sélectionnés doivent avoir le diplôme de Maître des Arts, qui correspond à peu près au baccalauréat d'aujourd'hui et être catholiques. La base de l'enseignement de Médecine était l'étude : des "choses naturelles" (l'anatomie et la physiologie), des "choses non naturelles" (l'hygiène et le régime) et des "choses contre nature" (la pathologie et la thérapeutique). (12)

L'enseignement des connaissances médicales et anatomiques durant cette période est globalement restreint car contrôlé par l'Église. Il faudra attendre le début de la Renaissance pour que des laïcs puissent avoir accès à un enseignement. (12)

#### 2.5 La Renaissance (1300-1600)

La Renaissance se caractérise par une rénovation de l'enseignement qui perd sa dépendance à l'Église au profit de l'état. A partir du XV<sup>ème</sup>, l'église autorise progressivement les dissections, tout d'abord dans un but médico-légal, puis celles des condamnés et des corps non réclamés. L'École de Montpellier par exemple acquiert en 1450 ses propres locaux, crée le « collège royal de Médecine » et en 1556 devient la première faculté de France à se munir d'un amphithéâtre consacré à la dissection. De plus, l'invention de l'imprimerie en 1450 va permettre aux nouvelles connaissances de se diffuser plus rapidement et sans contrôle clérical. L'assistance des peintres et sculpteurs de la Renaissance dans l'illustration de travaux médicaux permet également une amélioration de la qualité de ces traités. Mais cette évolution de l'anatomie et son enseignement sont ralentis par le manque de sujets d'études, la difficulté des procédures et la persistance de l'influence catholique de plusieurs siècles. Dans la plupart des universités d'Europe, les autorités civiles et religieuses n'autorisaient la dissection que de quelques corps par an. Malgré cela, la Renaissance voit se succéder des vérifications anatomiques majeures et des descriptions complémentaires aux traités référence de ces derniers siècles qui ouvrent la voie à la physiologie et l'anatomie pathologique. (12)

Médicalement parlant, l'avancée principale de la Renaissance et plus spécifiquement du XVI<sup>ème</sup> a été la naissance et le développement de l'anatomie moderne dont André Vésale est le principal réformateur.

### 2.5.1 André Vésale (1514 -1564)

Vésale est considéré comme le plus grand anatomiste de la Renaissance. En effet, il est l'un des premiers à pratiquer la dissection du corps humain et à rédiger ses observations qui permettront de corriger les erreurs qui prédominaient depuis Galien. Pourtant, comme tout médecin de son époque son enseignement est principalement basé sur les livres et rien ne doit contredire Aristote ou Galien. L'apprentissage de l'anatomie est négligé, les dissections rares, ne traitent jamais du squelette et servent surtout à appuyer les écrits. (16)

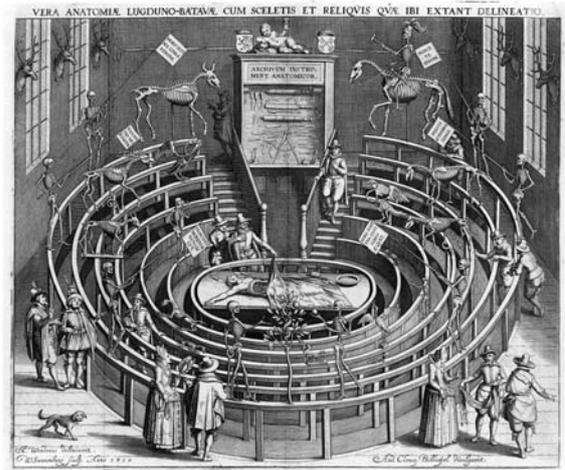


Figure 9. André Vésale (à gauche) (17)

Figure 10. Gravure de 1612 représentant le théâtre anatomique de Leyde (à droite) (18)

Vésale révolutionne la pratique de la dissection, qu'il pratique lui-même et les leçons d'anatomie, en publiant en 1538 un recueil de six planches « *Tabulae anatomicae sex* » représentant le squelette et les organes internes.

Les dissections ont lieu à cette époque dans des amphithéâtre d'anatomie, en public et sous le contrôle des autorités. Elle est réalisée comme le montre l'illustration ci-dessous (Figure 11) par un prosecteur, généralement un barbier, aidé d'un démonstrateur, sous l'œil du professeur. Le corps est disséqué sur plusieurs jours, parfois une semaine et selon un ordre précis. En fonction de la rapidité de la putréfaction, le bas ventre était d'abord disséqué suivi du thorax (cœur et poumons), de la tête (cerveau et organes des sens) et enfin les membres (bras et jambes). Le squelette ne faisait pas parti de la dissection afin que les ossements puissent être rapatriés.



Figure 11. La dissection par Johannes de Ketham publié dans *Fasciculus medicinae* 1491 (19)

On reconnaît dans cette illustration le magister qui récite le livre, l'ostensoir (en bas à droite) qui montre avec le doigt et le prosecteur (au centre) qui découpe les chairs.

A partir de ses dissections de cadavres humains, Vésale publie en 1543 un traité « *De Humani Corporis Fabrica Libri Septem* » en sept volumes qui résume ses observations et est illustré par des planches réalisées par des peintres professionnels de l'école de Titien. Il y rectifie certaines notions médicales erronées et tente d'uniformiser la nomenclature anatomique en corrigeant les appellations et en précisant les différents termes qui désignaient une même réalité anatomique. Cet ouvrage permet une diffusion de ses avancées dans toute l'Europe. Néanmoins, son travail d'anatomiste reste principalement descriptif et est peu utilisable par les chirurgiens de l'époque. (20)

### 2.5.2 Ambroise PARE (1510-1590)

C'est Paré qui réforme la chirurgie. D'abord simple barbier, il s'instruit en lisant les traductions de Galien et pratique la dissection mais ne peut devenir chirurgien car il ne connaît pas le latin. Il pratique donc sur les champs de batailles où il se distingue en généralisant la technique de ligature des vaisseaux et en abandonnant la cautérisation. (21)

En 1545, A. Paré publie son premier ouvrage « La méthode de traiter les plaies faites par les arquebuses et autres bastons à feu ; et celles qui sont faites par flèches, dard et semblables, aussi des combustions spécialement faites par la poudre à canon ». Ce traité fait scandale car il s'agit d'un livre écrit en français, par un barbier pour les barbiers et sans collaboration d'un docteur régent de la Faculté. En effet, depuis un arrêt du Parlement qu'elle avait obtenu le 3 mai 1535, la Faculté de médecine était en possession du privilège d'avoir un contrôle absolu sur la publication des ouvrages se référant aux sciences médicales, et de pouvoir empêcher toute publication faite sans son approbation. (14)

### 3 L'APPRENTISSAGE ET L'ENSEIGNEMENT

Si les techniques d'apprentissage évoluent avec le temps, les techniques d'enseignement sont les mêmes depuis longtemps.

Certains philosophes se sont intéressés aux origines de leurs fonctionnement et à leurs mécanismes.

#### 3.1 Définitions

L'apprentissage et l'enseignement sont deux notions distinctes par leurs méthodes d'assimilation de l'information. L'apprentissage se base principalement sur l'assimilation de pratiques, connaissances, compétences par l'observation, l'imitation et l'essai. Alors que l'enseignement, dont le but est l'acquisition d'un savoir ou de connaissances, s'assimile à travers des études, des exercices ou des contrôles de connaissances. (22)

##### 3.1.1 L'apprentissage

Le dictionnaire Larousse définit l'apprentissage comme « l'initiation par l'expérience à une activité, à une réalité, l'ensemble des processus de mémorisation mis en œuvre par l'animal ou l'homme pour élaborer ou modifier les schèmes comportementaux spécifiques sous l'influence de son environnement et de son expérience ». (23)

Nous retrouvons, en effet, chez les premiers behavioristes des expérimentations de mémorisation sur les animaux et l'homme, dans les théories du cognitivisme les structures acquises par l'expérience, et enfin l'importance de l'environnement mis en valeur par le socioconstructivisme.

##### 3.1.2 L'enseignement

Le fait d'enseigner (du latin *insignis*) peut, quant à lui, se préciser comme le fait d'apprendre, faire savoir, faire connaître, inculquer à quelqu'un une science, un art, une discipline par une leçon ou des cours. (24)

C'est une pratique, mise en œuvre par un enseignant, visant à transmettre des compétences (savoir, savoir-faire et savoir-être) à un élève, un étudiant ou tout autre public dans le cadre d'une institution éducative. Cette notion se distingue de l'apprentissage qui renvoie lui à l'activité de l'élève qui s'approprie ces connaissances. (25)

#### 3.2 L'enseignement

L'enseignement remplit deux objectifs majeurs :

- D'une part la gestion de l'information, de la formation par l'enseignant et de leur appropriation par l'élève,
- D'autre part celui du traitement et de la transformation de l'information en savoir par l'action de l'enseignant en classe, par l'organisation de situations pédagogiques pour l'apprenant.

En d'autres termes, enseigner suppose à la fois des techniques et méthodes spécifiques à une discipline, et des techniques qui peuvent s'appliquer à toute forme de domaine de connaissance. (26)

Les courants d'enseignement actuels sont inspirés pour la plupart de pédagogies dites alternatives comme par exemple celle de Montessori ou les théories d'apprentissage du constructivisme ou socio-constructivisme. Dans ce type de pédagogie, l'élève est orienté vers des productions concrètes plutôt que vers la mémorisation, il recherche les informations par lui-même et l'enseignant joue alors un rôle d'accompagnateur afin de faciliter les apprentissages. (27)

### 3.3 Les grands courants de l'apprentissage

La notion d'apprentissage a évolué au cours du temps et certaines des théories décrites par l'illustration ci-dessous (figure 12) sont la base de certains supports utilisés et développés aujourd'hui.

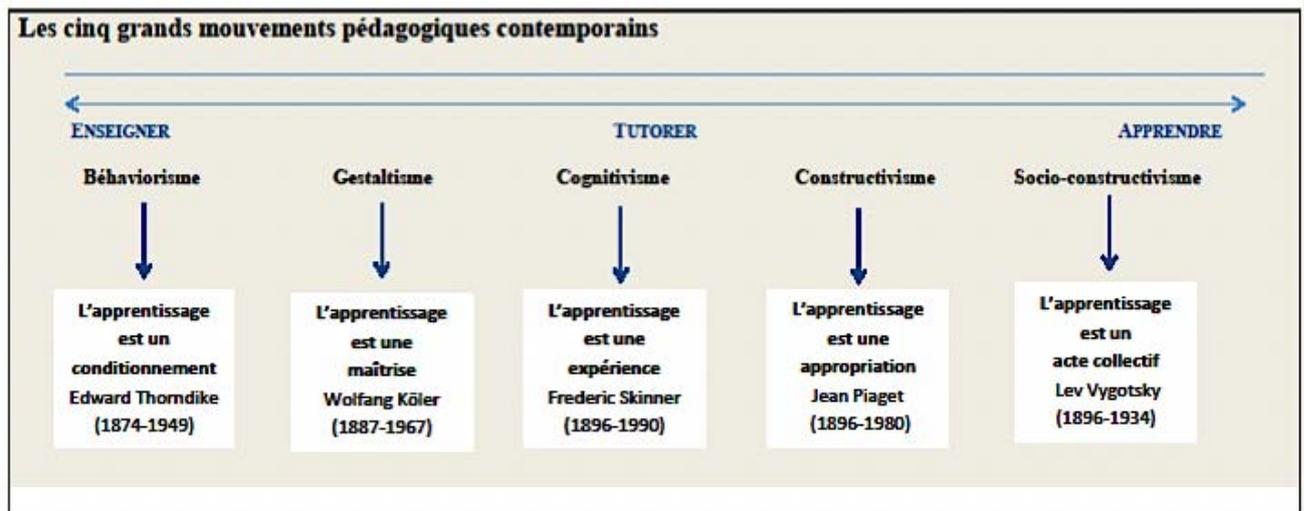


Figure 12. Les cinq grands mouvements pédagogiques contemporains (28)

#### 3.3.1 Behaviorisme (*behavior* : le comportement)

Bien que développé dès 1898 dans l'ouvrage de Thorndike « l'intelligence animale », c'est Watson (1878-1958) (29) qui en 1913 établit les principes de base du béhaviorisme, en affirmant, dans un article intitulé « La psychologie telle que le béhavioriste la voit » que le behaviorisme conçoit la psychologie comme le comportement extérieur des hommes et non la conscience des sujets (pensées, sentiments). Parfois qualifiée de « comportementaliste », cette théorie étudie les comportements des individus soumis à des facteurs extérieurs, son but étant la prédiction et le contrôle de ce comportement.

L'utilisation de cette approche comportementaliste est très controversée dans l'enseignement car, même si les élèves adoptent les comportements ou conduites souhaitées, le conditionnement ne favorise pas le développement de la compréhension ou de l'esprit critique. Ces éléments dépendent des paramètres internes de l'individu, les courants qui prennent en compte ces paramètres complètent le behaviorisme. (29)

### 3.3.2 Le gestaltisme ou psychologie de la forme

Issu du mot allemand *gestalten*, la « gestlat » peut être traduite par une forme structurée et complète. L'école gestaltiste est fondée au début du XXème siècle et tend à mettre en évidence le caractère relatif de la perception d'un objet. Cette perception dépend à la fois des caractéristiques de l'environnement dans lequel est placé l'objet, des attentes du sujet et donc de ses connaissances antérieures. De plus, en mettant l'accent sur la perception global des stimuli, les gestalistes remettent en cause l'idée que l'apprentissage est basé sur des associations simples. (30)

### 3.3.3 Le cognitivisme

Le projet fondateur du cognitivisme s'est formé dans les années 1940 et s'est porté sur le traitement mental de l'information. Ces études sur la réflexion cognitive des apprenants démontrent un certain système d'apprentissage : comment une personne apprend de ses erreurs et comment elle traite et accède aux informations. (31)

Le cognitivisme se centre également sur l'origine de nos connaissances ainsi que sur les stratégies employées pour assimiler, retenir, organiser et réinvestir ces acquis. Pour les cognitivistes, le sujet est conscient de la manière dont il développe ses connaissances, l'apprentissage est donc de ce point de vue un processus actif et constructif. Les connaissances antérieures du sujet jouent donc un rôle essentiel dans l'acquisition et l'organisation des nouvelles notions, puisque cette méthode d'apprentissage est basée sur un apprentissage progressif. (32)

### 3.3.4 Le constructivisme

Selon Piaget (33), le constructivisme se définit comme l'interaction entre le sujet et son environnement. Il développe cette hypothèse en 1923 en réaction au behaviorisme alors en plein essor. Ce biologiste, psychologue, logicien et épistémologue suisse est connu pour ses travaux en psychologie du développement. Il y démontre que l'apprentissage est une construction personnelle que l'individu construit à partir de ses propres expériences et erreurs. Le sujet se forme ainsi une vision personnelle du monde. Cette théorie favorise un apprentissage durable et cultive l'autonomie des apprenants.

### 3.3.5 Le socio-constructivisme

Pour Vygotski (34), les interactions entre individus sont motrices d'apprentissage et utilisent le langage comme instrument d'échange. Le socio-constructivisme se structure autour du rôle du langage et des relations sociales ainsi que leurs influences sur la construction des connaissances. Les méthodes d'apprentissage basées sur le socio-constructivisme privilégient le travail coopératif, collaboratif, les débats et les échanges d'idées. L'apprenant est dans ces modèles actif et interagit avec les enseignants et autres apprenants ce qui génère une hausse de la motivation et de la valorisation de soi. L'enseignement n'est plus frontal ou magistral, l'enseignant est guide, accompagnateur et tuteur, anime les interactions et favorise les situations d'échange.

### 3.3.6 Le connectivisme

Le connectivisme est une théorie de l'apprentissage développée par Siemens et Downes qui se base sur les apports des nouvelles technologies. Après analyse des limites du behaviorisme, du cognitivisme et du constructivisme, ils expliquent les effets de la technologie sur la vie, la communication et l'apprentissage (35).

Mitra démontre dans une étude d'une durée de dix ans (36) que les enfants sont capables d'apprendre (de co-apprendre), seuls, sans professeur, par eux-mêmes avec un ordinateur, internet et/ou des supports de cours. (37) L'apprentissage peut donc résider dans des appareils (non humain). Entretenir et maintenir des connexions est nécessaire pour faciliter l'apprentissage continu et la possibilité de voir les liens entre les domaines, les idées et les concepts est une compétence de base. Ces méthodes sont utilisées dans une partie des MOOC. Downes résume l'enseignement et l'apprentissage connectivisme de la manière suivante : « enseigner, c'est modéliser et démontrer ; apprendre, c'est pratiquer et réfléchir ». (38)

### 3.4 Conclusion et évolution des systèmes d'apprentissage

Simplement défini, l'apprentissage implique la réorganisation et le transfert de nouvelles informations des limites de la mémoire de travail vers le référentiel illimité de la mémoire à long terme (39).

Pour Lisowski (28), à l'origine, l'environnement pédagogique de l'apprenant était « subi », et l'apprentissage était un conditionnement sous l'influence du behaviorisme. Le gestaltisme fait évoluer la perception de l'apprentissage comme une « maîtrise ». Le cognitivisme, marque l'apprentissage comme une expérience et remet le tutorat au goût du jour. Progressivement, l'environnement pédagogique de l'apprenant change pour aboutir à un cadre choisi où l'apprentissage devient une appropriation et où la collaboration entre apprenants se fait grandissante pour atteindre, sous l'influence du socio-constructivisme un état d'acte collectif. Il s'agit alors moins d'enseigner que d'apprendre (28).

### 3.5 Le tuteur dans l'enseignement en ligne

Avec l'émergence d'internet puis de l'enseignement en ligne, apparaissent de nouveaux rôles de formation et une nouvelle façon d'enseigner. Le métier d'enseignant évolue donc lorsque celui-ci est placé dans un environnement en e-learning.

Bellier (40) distingue dans son livre « e-learning », les évolutions du rôle de l'enseignant dans les différents types de formations mixtes et/ou tutorées. Par exemple, le présentiel dans les formations mixtes change radicalement le rôle de l'enseignant. En effet, les apprenants ont étudié le sujet en amont et à distance. L'enseignant n'est plus seulement là pour apprendre quelque chose à un groupe ou apporter de nouvelles notions mais pour faire passer les connaissances apprises sur écran à leur mise en œuvre dans des situations précises. L'enseignant devient un pédagogue avec un rôle dans l'appropriation, le transfert et la transposition des connaissances. Il ne s'agit pas réellement d'un nouveau métier mais plutôt d'une évolution de l'utilisation des pratiques de l'enseignement.

Le tutorat à distance asynchrone (en temps différé) est la situation pédagogique qui est la plus proche de ce qui est connu en matière de formation à distance classique. L'introduction de la technologie va néanmoins lui ajouter une dimension de rapidité d'échanges. Il faut, de la part du tuteur, une grande disponibilité et une capacité de réponse avec peu de recul. (40)

Le rôle de tuteur varie également d'une situation à l'autre. Dans le cas de la formation à distance individuelle synchrone (personnelle et en temps réel), il s'agit d'une relation très proche avec l'apprenant tout en étant physiquement à distance, ce qui peut entraîner des difficultés entre

adaptation et progression (réponses constantes aux sollicitations tout en veillant à la progression) et un manque de variété de rythme (par rapport à un groupe qui possède des rythmes et des niveaux pédagogiques différents). Dans les situations d'enseignement collectif synchrone (classes virtuelles), la difficulté majeure hormis l'utilisation de la technologie mise en place dans l'environnement, réside dans la cohésion de groupe. En effet, le tuteur doit réussir à faire interagir les étudiants entre eux et lutter contre l'isolement et l'abandon sans forcément avoir de retour visuel de l'ensemble. Ces deux situations requièrent une grande maîtrise d'outils techniques très particuliers et peu utilisés. Mais surtout, la relation avec le ou les apprenants diffère totalement de ce qui est connu en présentiel. (40)

## DEUXIEME PARTIE : LES SUPPORTS NUMERIQUES D'APPRENTISSAGE

### 1 HISTORIQUE

En Angleterre, à l'aube du XIXème siècle, le courrier postal permet un premier pas vers un apprentissage à distance en permettant aux citoyens de tout l'empire britannique de suivre des formations à l'université. En France, les Formations Ouvertes A Distance (FOAD) ont été encouragées au début des années 1990 par la Commission européenne.

Cependant, c'est durant les années 2000 que les programmes de formation en ligne se sont fortement développés grâce à l'émergence de l'informatique. L'arrivée de nouveaux réseaux de communication (radio, téléphone, télévision, satellite, internet) et de systèmes de stockage plus perfectionnés (disquette, CD-Rom, clef USB) a permis une rapide extension de ce concept. (41)

### 2 DEFINITIONS, NOTIONS ET CARACTERISTIQUES

#### 2.1 Supports numériques

On entend par support numérique tout dispositif permettant la visualisation et manipulation d'un contenu codé informatiquement. Cette définition comprend donc de nombreux supports (audio, d'image projetées, électroniques) dont certains ne sont pas utilisés dans l'enseignement. Le numérique implique surtout une séparation entre supports et contenus qui étaient auparavant strictement liés (presse papier, télévision, film, etc.). (42)

#### 2.2 Apprentissage en ligne

L'apprentissage en ligne est aussi appelé apprentissage sur le Web, apprentissage distribué, enseignement assisté par ordinateur ou apprentissage sur Internet. Historiquement, il existe deux modes d'apprentissage en ligne communs: l'apprentissage à distance et l'enseignement assisté par ordinateur (43).

L'apprentissage à distance utilise des technologies de l'information pour enseigner aux apprenants. L'enseignement assisté par ordinateur (également appelé apprentissage assisté par ordinateur et formation assistée par ordinateur) utilise des ordinateurs pour faciliter l'apprentissage et l'enseignement (44).

La livraison de contenu peut être synchrone ou asynchrone. La livraison synchrone fait référence à l'apprentissage électronique en temps réel, dirigé par un instructeur, où tous les apprenants reçoivent des informations simultanément et communiquent directement avec d'autres apprenants. Les exemples incluent la téléconférence (audio, vidéo, ou les deux), les forums de discussion sur Internet et la messagerie instantanée. Avec une distribution asynchrone, la transmission et la réception d'informations ne se produisent pas simultanément. Les étudiants sont responsables de leur propre apprentissage. Il est important d'établir des normes pour le matériel d'apprentissage en ligne afin de s'assurer qu'il est compatible avec les objectifs d'apprentissage de la formation médicale, facilement accessible et utilisable dans de nombreux systèmes informatiques. (44)

## **2.3 Les Formation Ouverte et A Distance (FOAD)**

La FOAD, elle est définie par la DGEFP (Délégation Générale à l'Emploi et à la Formation Professionnelle) comme une formation ouverte et/ou à distance (partiellement ou totalement), présentant un dispositif souple de formation organisé en fonction de besoins individuels ou collectifs. Elle comporte des apprentissages individualisés et l'accès à des ressources et compétences locales ou à distance. Elle est le plus souvent payante, relié à une université et permet d'accéder à des certifications. Si le formateur n'est pas nécessairement présent, l'assistance qu'il procure permet un contact avec les étudiants et un accompagnement renforcé. La FOAD permet donc un apprentissage selon le rythme et les besoins de l'apprenant. Même si la formation est à distance, cela ne limite pas l'accompagnement par des formateurs qui sont des soutiens tout au long du parcours du participant. (41)

En plus des supports d'apprentissage traditionnels, un dispositif de FOAD s'appuie sur une ou plusieurs situations telles que les cours par correspondance, les systèmes de formation en ligne, les centres de ressources, les cours télédiffusés par radio ou télévision (à la demande ou non), le télé-présentiel collectif ou individuel (télé-cours, télé-tutorat) et les campus virtuels ou classes virtuelles.(41)

Les références théoriques de la FOAD sont les suivantes : La FOAD s'appuie sur les principes de l'auto-apprentissage et de la motivation de l'apprenant (indispensable pour réussir un apprentissage en ligne) et son accompagnement

Concernant l'auto-apprentissage, ce sont les sept piliers de l'autoformation (45) qui sont un point essentiel dans la formalisation de la FOAD :

- disposer d'un projet personnel,
- s'engager dans un contrat de formation,
- définir le mécanisme de préformation ou période d'essai,
- prévoir l'accompagnement de formateurs/facilitateurs,
- disposer d'un environnement ouvert,
- alterner travail individuel et collectif,
- et suivre du début jusqu'à la sortie de formation.

### **2.3.1 Différence FOAD et e-learning**

Un site d'apprentissage contenant des exercices interactifs autocorrectifs pourrait ainsi être classé dans la catégorie « e-learning » mais non pas dans celle de FOAD : ne s'agissant pas obligatoirement d'un système structuré, n'incluant pas forcément une progression, il est impossible de lui attribuer le nom de « formation », ni même celle d'« enseignement ». En revanche, une formation ouverte et à distance ne saurait se dispenser de l'usage de nouvelles technologies, et difficilement de contenus interactifs et multimédia : la FOAD inclut donc toujours un volet e-learning, alors que le contraire n'est pas vrai. (41)

### 3 MODELES GENERAUX DE SUPPORTS NUMÉRIQUES D'APPRENTISSAGE

#### 3.1 Les modèles selon Bersin

Il existe plusieurs modèles d'apprentissage numérique classés en fonction du degré d'interactivité sociale ou technique. Même s'il n'existe pas de classification consensuelle, le modèle de Bersin (46) adapté par la HAS (41) distingue quatre grands formats : la formation en ligne, la formation mixte, les formations informelles et les cours en ligne ouverts à tous.

#### 3.2 Les formations en ligne ou *e-learning self study*

L'appellation e-Learning vient de l'anglais, « e » pour « *electronic* » et du mot « *learning* » qui signifie apprentissage. D'après l'Union Européenne (47), l'e-learning est : « l'utilisation des nouvelles technologies multimédias de l'Internet pour améliorer la qualité de l'apprentissage en facilitant d'une part l'accès à des ressources et à des services, d'autre part les échanges et la collaboration à distance ». Le e-learning est donc associé à toute forme d'apprentissage en ligne. Ce type d'apprentissage est réalisé entièrement à distance, il n'est pas envisagé de formation présentielle. L'apprenant est autonome et dispose de multiples ressources qui sont mises à sa disposition directement via internet.

Les concepteurs de ces formations interactives en ligne peuvent adapter le contenu des cours en fonction du parcours d'apprentissage de ses internautes. Cela permet de retenir l'attention de l'apprenant par un mode d'apprentissage ludique et proactif. C'est une souplesse dans l'apprentissage qui permet à chaque apprenant d'atteindre ses objectifs. (41)

#### 3.3 Les formations mixtes ou *blended learning*

Parfois également appelées formations hybrides, formations multimodales ou *blended learning*, les formations mixtes se construisent sur une combinaison de deux modes d'apprentissage : une formation à distance autonome (*e-learning*) et une formation en présentiel.

Ces deux processus sont supervisés par un encadrant qui permet de faire le lien entre ces deux formations complémentaires et s'appuie notamment sur des outils et ressources numériques. La maîtrise des connaissances acquises à distance est souvent utilisée comme prérequis pour les séances de présentielles et entre celles-ci.

La formation hybride combine donc séquences d'apprentissage à distance et en présentiel, transmissif et collaboratif, dirigé et autodirigé, formel et informel.

Pourtant plus complète, cette formation se retrouve peu utilisée du fait de la complexité d'organisation entre les deux modules. Certaines universités commencent timidement à utiliser ce programme d'apprentissage en permettant l'accès à des cours magistraux sous forme de vidéos accessibles à distance, associés à des travaux dirigés en présentiel. (41)

### **3.4 Les formations informelles, on-the-job training ou embedded e-learning**

#### **3.4.1 La formation pratique ou *on-the-job training***

Par définition, la formation pratique permet une formation en situation de travail. L'apprentissage étant en relation avec le travail, l'apprenant peut avoir accès à des ressources extérieures (procédures, contenus...) et à l'encadrement par un formateur ou enseignant. L'apprenant en accord avec son employeur peut maintenir ses conditions d'emploi pour renforcer ses connaissances, obtenir par ce biais des certificats ou diplômes, appliquer ses acquis au travail de manière pragmatique et renforcer les liens qui le lient avec un réseau de professionnels et d'universitaires. (41).

Ce modèle présente un avantage majeur pour les entreprises qui souhaitent que des professionnels continuent de se former et acquérir des compétences en continuant leur travail.

#### **3.4.2 L'apprentissage intégré ou *embedded e-learning***

Se rapprochant par son principe de l' « *on-the-job training* », l' « *embedded e-learning* » se différencie par l'intégration de son apprentissage dans l'exercice professionnel en lui-même. Ainsi, l'application des connaissances peut se faire dans un contexte pratique. Il permet une transmission plus efficace des connaissances vers des compétences pratiques. (41)

Ce modèle profite notamment aux professionnels de santé qui doivent apprendre une grande quantité de connaissances mais qui se retrouvent parfois dans une situation où la procédure leur est inconnue. Il leur faut donc pouvoir accéder rapidement à des données théoriques pour pouvoir les appliquer dans cette situation.(41)

### **3.5 Les cours en ligne ouverts à tous (MOOC)**

Les MOOC (de l'anglais *Massive Online Open Course*) apparaissent dans le domaine des supports numériques d'apprentissage en 2008. Siemens et Downes prennent les premiers le parti de s'orienter vers un apprentissage utilisant les réseaux informatiques, les réseaux de contenu et de personnes, ils s'appuient sur le principe du connectivisme en l'appliquant à l'ère numérique. Ils sont un complément à la FOAD. (41)

Ce système permet au plus grand nombre, le plus souvent gratuitement, d'accéder à des cours en ligne de par des contenus numérisés comme des vidéos, des podcasts audios, des activités de groupe et des conseils. Cette formation en ligne se différencie par des interactions possibles avec les autres utilisateurs à travers des activités collaboratives, des exercices ou des forums associés. Elle est divisée selon les objectifs pédagogiques personnels de l'apprenant et peut aller jusqu'à la certification.(41)

Downes différencie deux types de MOOC selon leurs objectifs et les systèmes d'évaluation. (48)

#### **3.5.1 Les xMOOC**

Le principe des xMOOC ressemble de plus près aux enseignements dits traditionnels avec un modèle basé sur des cours, des exercices et un contrôle des connaissances acquises. L'enseignant définit les conditions de la formation et l'objectif de l'apprentissage. Les étudiants se connectent sur le forum du site dédié au cours et complètent le(s) module(s). Les interactions entre professeur-étudiants ou étudiants-étudiants sont très limitées, les xMOOC ne permettent pas cette connectivité. Le plus souvent, ces xMOOC sont retrouvés dans des domaines

disciplinaires, liés à un cours universitaire et se concluent par la délivrance d'un certificat de réussite. C'est le système qui se rapproche le plus de la FOAD.(48)

### 3.5.2 Les cMOOC

Issu de l'approche connectiviste, les cMOOC se différencient par un environnement où instructeurs et apprenants se confondent et forment une communauté. Ils sont tous impliqués, l'enseignant offre une base de connaissance très générale et les apprenants construisent l'organisation de leur savoir et leurs objectifs d'apprentissage. Pour cela, les échanges entre pairs sont fondamentaux et se passent sur les supports informatiques de communication tels que les blogs, les forums ou les réseaux sociaux. Les interactions entre participants déterminent la progression des apprenants. Ce type de formation encourage fortement l'autonomie et l'auto-évaluation par sa structure libre d'apprentissage. Les domaines d'applications pour les cMOOC sont larges de sujets, ouverts à tous et interdisciplinaires.(48)

## 4 MISE EN PLACE DES SUPPORTS NUMERIQUES DANS L'APPRENTISSAGE/ DANS LE DOMAINE DE LA SANTE

Internet est devenu une plate-forme sociale où des millions de consommateurs de santé accèdent et partagent des informations sur la santé. L'un de ces moyens, la cyber-santé (49), a permis d'améliorer la santé publique et le système de santé. La technologie de l'information médicale a influencé la profession médicale au cours de la dernière décennie et continuera à faire des progrès. Par exemple, la présentation de l'information en trois dimensions est de plus en plus utilisée dans l'éducation médicale et les soins de santé (50). (51)

### 4.1 Techniques d'apprentissage actuelles

Aujourd'hui, la plupart des notions anatomiques sont transmises par des cours présentiels à travers l'étude de photographies, de dissections, de planches schématiques, de modèles tridimensionnels ou lors de séances de dissections en groupe. L'enseignement actuel de l'anatomie humaine comprend la dissection de cadavres, les présentations multimédias, les procédures pratiques, l'anatomie de surface et clinique et l'imagerie radiologique (56). La dissection par cadavre est la méthode standard d'apprentissage de l'anatomie pour les études de médecine et permet une compréhension haptique/ sensorielle des structures anatomiques tridimensionnelle mais elle est coûteuse et prend beaucoup de temps, et les heures d'enseignement diminuent chaque année. Pour les facultés dentaire, l'apprentissage se fait surtout par des cours et l'utilisation de modèles tridimensionnels. (52)

#### 4.1.1 Cours présentiels et conférences

Système le plus utilisé dans les universités de nos jours, les cours présentiels et les conférences permettent à l'instructeur de présenter à un grand nombre d'étudiants une importante quantité d'informations, structurées selon ses critères d'apprentissage. L'enseignant a à sa disposition plusieurs supports afin de diversifier la présentation des programmes : planches anatomiques, photographies de dissections et modèles tridimensionnels. Malgré ces nombreux supports, une grande partie de l'apprentissage se révèle passif et les étudiants doivent utiliser principalement leur mémoire visuelle et auditive et même si les échelles sont respectées, la visualisation du corps humain dans son ensemble et dans sa vision tridimensionnelle se révèle délicate.(53)

#### 4.1.2 Séances de dissection

Les séances en laboratoire de dissection présentent l'avantage pour les apprenants de manipuler les structures corporelles afin d'apprécier leurs formes tridimensionnelles et leur relation avec les tissus et organes avoisinants. Bien qu'interactif, cet apprentissage est de moins en moins réalisé, car il nécessite un investissement important en temps, en espace et en ressources (54). Ces programmes sont également réalisés en groupes de travail dans lesquels les questions de l'élève et sa capacité à manipuler le cadavre sont restreintes.

Des efforts importants sont déployés pour améliorer l'enseignement de l'anatomie humaine afin de favoriser notamment la connaissance des relations visuo-spatiales.

### 5 L'APPRENTISSAGE NUMERIQUE DE L'ANATOMIE CERVICO-CEPHALIQUE

La tendance actuelle en éducation médicale est de parvenir à une compréhension anatomique plus rapidement pour les élèves en utilisant les technologies de l'information et de la communication. Ces technologies peuvent se rapprocher de l'anatomie et du mouvement humains grâce à des modèles graphiques réalisés en trois dimensions. Il reste cependant difficile d'obtenir une anatomie et un mouvement réalistes. (51)

#### 5.1 Utilisation de logiciels tridimensionnels

Les étudiants peuvent éprouver des difficultés à acquérir une compréhension de l'anatomie tridimensionnelle, comme l'alignement osseux, les muscles et les mouvements complexes à partir d'images et de textes bidimensionnelles (2D). Cela peut augmenter la charge cognitive et ralentir l'apprentissage de l'anatomie pour les élèves ayant de faibles compétences spatiales. Le développement bien que récent de l'infographie tridimensionnelle et animée peut fournir de meilleures informations aux utilisateurs. (51)

##### 5.1.1 Exemple 1 : Les structures corporelles virtuelles tridimensionnelles basée sur le Web ou *Web-based three-dimensional Virtual Body Structures (W3D-VBS)* (55)

###### 5.1.1.1 Introduction

Le projet *Visible Human* développé par la Bibliothèque américaine de médecine permet de créer des applications basées sur la réalité virtuelle pour l'enseignement de l'anatomie. L'intégration des méthodes traditionnelles basées sur les cadavres et les illustrations avec des simulations sur Internet nous rapproche de cet objectif.(55)

### 5.1.1.2 Description

Les structures corporelles virtuelles en trois dimensions basées sur le Web (W3D-VBS) sont un système d'entraînement anatomique immersif de nouvelle génération destiné à l'enseignement de l'anatomie humaine sur Internet. Il utilise les données *Visible Human* pour explorer, sélectionner, visualiser, manipuler et même palper des structures à l'aide d'un dispositif haptique. Le suivi de la progression de l'utilisateur à l'aide d'outils d'évaluation permet de personnaliser les plans de cours. Une « visite virtuelle » autoguidée de l'ensemble du corps permet à l'utilisateur d'étudier à tout moment et à l'endroit où il le souhaite.

Exemple de modèles :

- *Visible Human* créé par la Bibliothèque Nationale américaine de Médecine en 1986 à partir d'image d'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique), CT-scan (tomodensitométrie assistée par ordinateur) et de cryo-sections.
- *Visible Human Browers* créé par l'Université du Michigan.
- *Cross Sectionnal Anatomy* créé par Gold standard multimédia.
- *Anatline* créé par la Bibliothèque Nationale américaine de Médecine.
- *Visible Human Viewer* créé par l'Université d'Adelaide.

### 5.1.1.3 Le projet Visible Human

Lorsque la Bibliothèque Nationale américaine de Médecine a lancé le projet *Visible Human* en 1986, son objectif était de construire une bibliothèque d'images volumétriques numériques d'un corps masculin et féminin complet. Le premier ensemble complet *Visible Human Male* (VHM) est rendu disponible en 1994, il comprend des images numérisées de tomodensitométrie et d'IRM ainsi que 1871 images axiales très hautes résolutions issues de cryosections. En août 2000, des images de résolution supérieure ( $4096 \times 2700$  pixels) ont été diffusées.

Le logiciel présente différents types d'outils et de fonctionnalités qui sont accessibles à travers les pages de références et de navigation illustrés ci-dessous (Figure 14) :

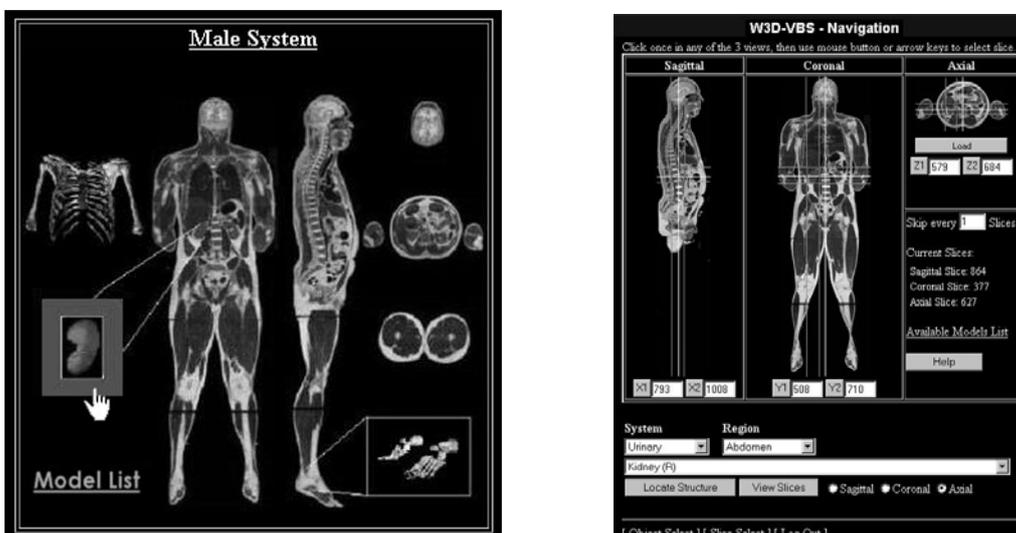


Figure 13. Page de références (à gauche) et page de navigation (à droite) (55)

- Les structures de corps virtuels de surface

Une structure de corps virtuel basée sur la surface (s-VBS) est un modèle géométrique tridimensionnel pour l'extérieur d'une structure anatomique. Un outil spécifique permet à l'utilisateur de sélectionner des structures anatomiques à partir d'une coupe axiale, d'une région corporelle ou d'un système anatomique pour créer ses modèles en trois dimensions en surface. Ce système ne permet pas la visualisation des structures internes. (56)

- Les structures de corps virtuels volumétriques ou VBS-Volumizer

Pour définir les infrastructures internes et les structures externes d'un volume spécifique, il faut donc utiliser le générateur de structure de corps virtuelle volumétrique (v-VBS). Cet outil restitue le volume des organes tranche par tranche. La visualisation des volumes peut être améliorée en rendant semi-transparentes les tissus environnants et en activant la surbrillance et l'étiquetage des structures. (56)

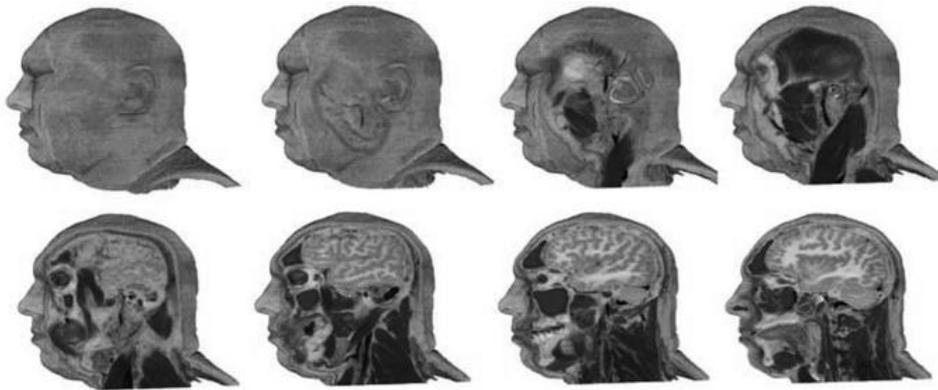


Figure 14. Manipulation du volume dans le sens sagittal.(55)

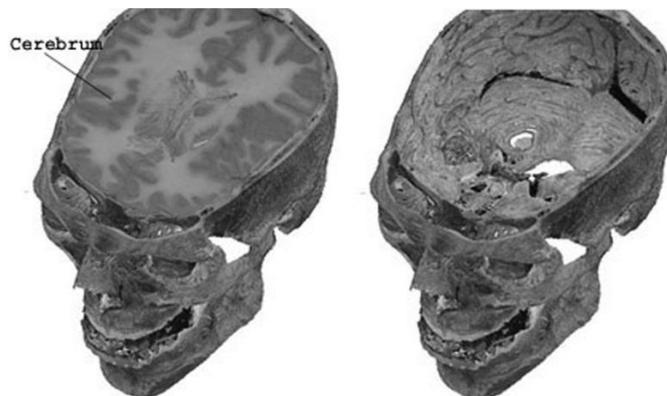


Figure 15. Cerebrum surligné et étiqueté (à gauche). Cerebrum et autres tissus enlevés (à droite) (55)

- Le dispositif informatique haptique

L'outil informatique haptique permet à un utilisateur de toucher des objets virtuels via un dispositif haptique. Un retour de force est ressenti lorsque l'utilisateur déplace le dispositif dans l'espace virtuel et touche un objet. La force dépend des propriétés matérielles de l'objet virtuel. Ce dispositif d'un nouveau genre est encore du domaine de la recherche au niveau volumétrique, la plupart des applications haptiques existantes (y compris W3D-VBS) utilisent donc des modèles basés sur la surface. (55)

- L'outil évaluation

Il existe deux systèmes d'évaluation, un pour l'autoévaluation où les étudiants peuvent créer eux-même des questions pour tester leurs connaissances et un autre système inscrit dans l'utilisation d'un programme de cours. Ce dernier est également personnalisable.(55)

- L'Interface Utilisateur Vocale Dynamique (DV-UI)

Cet outil permet à l'utilisateur de contrôler l'interface grâce à des commandes vocales qu'il peut ensuite personnaliser. Dans de plus en plus de supports, la reconnaissance et la personnalisation vocale deviennent des fonctionnalités importantes.(57)

Plusieurs formations pour l'enseignement de l'anatomie ont été créés sur ordinateur à partir du projet *Visible Human* (58). Mais la plupart des systèmes se basant sur *Visible Human* utilisent internet.

#### 5.1.1.4 Navigateurs humains visibles/*Visible Human Browsers*

Les navigateurs humains visibles (VHB) (59) de l'Université du Michigan offrent une navigation de base pour les images *Visible Human*. Les VHB s'exécutent dans un navigateur Web et permettent aux utilisateurs d'afficher des tranches individuelles dans des résolutions faibles, moyennes et élevées. Les navigateurs ne fournissent pas d'informations anatomiques. Cependant, le navigateur régional sépare les tranches dans cinq grandes régions : la tête et le cou, le thorax et l'abdomen, le bassin, la cuisse et la jambe.

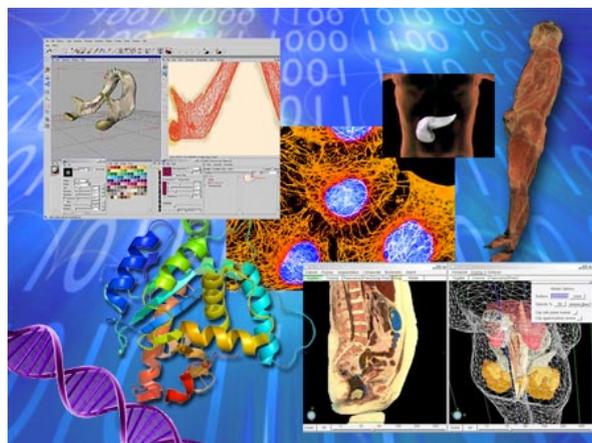


Figure 16. Modules d'apprentissage proposés par l'Université du Michigan (59)

#### 5.1.1.5 Anatomie transversale/ Cross Sectional Anatomy

L'anatomie transversale de Gold Standard Multimédia (60) peut être visualisée avec un navigateur Web compatible. Ce système permet à un utilisateur de mettre en évidence des structures sur une tranche mais limite les utilisateurs aux tranches axiales. Une caractéristique notable de ce système est sa capacité à classer et à rechercher les structures par régions du corps et par système fonctionnel. La mise en évidence de plusieurs structures avec des couleurs différentes et la fusion alpha est un moyen pratique d'identifier les structures sur une tranche. Gold Standard Multimédia héberge également une « *Virtual Human Gallery* », dans laquelle tout le monde peut soumettre des images et des animations de rendu pour exposition.

#### 5.1.1.6 AnatLine

AnatLine (61) de la Bibliothèque Nationale américaine de Médecine dispose d'un navigateur anatomique en ligne et d'une base de données anatomiques en deux parties : une pour la recherche en ligne et une pour l'utilisation après le téléchargement. Le navigateur anatomique fournit des images de modèles en trois dimensions, basées sur la surface, que l'utilisateur peut utiliser pour naviguer dans la région du thorax. La base de données anatomique permet aux utilisateurs de rechercher des images de la structure corporelle par leur nom. Les résultats de la recherche fournissent des liens vers des fichiers pouvant être téléchargés. Ces fichiers incluent des images anatomiques rendues en volume, des piles segmentées de tranches d'image et les outils pour la segmentation des structures anatomiques. Ce système offre peu de capacités d'interaction en ligne et nécessite que l'utilisateur télécharge les fichiers pour les visualiser.

#### 5.1.1.7 Observateur humain visible/*Visible Human Viewer*

L'observateur humain visible (62) de l'Université d'Adélaïde est un système de visualisation d'images pour les tranches *Visible Human*. Il repose uniquement sur la navigation par tranches au niveau de l'axe, coronales et sagittales. L'utilisateur peut spécifier une section dans l'image à afficher dans les résolutions faibles, moyennes et élevées.

Ces cinq projets *Visible Human* basé sur le web présentent chacun différentes caractéristiques qui sont récapitulées dans le tableau suivant (Tableau 1).

Caractéristiques	Description	W3D-VBS	CSA	VHB	AnatLine	VHV
Modèles volumétriques-3D	Définit et montre un volume	Oui	X	X	X	X
Capacité haptique/tactile	Modèles tactiles avec dispositif haptique	Oui	X	X	X	X
Capacité haptique	Visualiser et toucher les modèles s-VBS	Oui	X	X	X	X
Évaluation des progrès d'apprentissage	Suivre les progrès dans l'apprentissage de l'anatomie	Oui	X	X	X	X
Vue des coupes	Axiale : de haut en bas Coronale : de l'avant vers l'arrière Sagittale : de gauche à droite	Axiale Coronale Sagittale	Axiale	Axiale Coronale Sagittale	Axiale	Axiale Coronale Sagittale
Navigation détaillée des coupes	Affichage du nom de la structure désignée par la souris d'ordinateur	Oui	Oui	X	Oui	X
Visualisation du volume des coupes	Visualisation des coupes contenant la structure anatomique désignée	Oui	X	X	Oui	X
Mise en évidence	Mise en évidence des structures sélectionnées	Oui	Oui	X	Oui	X
Étiquetage des structures 3D	Affichage du nom de la structure désignée par la souris d'ordinateur sur le niveau volumétrique	Oui	X	X	X	X
Classification des structures	Chercher les structures par fonctionnalité ou région du corps	Oui	Oui	X	Oui	X
Modèles 3D basés sur la surface	Sélectionner, voir, et interagir avec des modèles de surface 3D préconstruits	Oui	X	X	Oui	X
Sélectionner une coupe spécifique	Spécifier une coupe à voir	Oui	X	X	Oui	X
Outil de recherche	Recherche d'une structure spécifique	Oui	Oui	X	Oui	X
Identification de l'utilisateur	Enregistrement nécessaire	Oui	Oui	X	X	X
Résolution pixel de l'image	Résolution de l'image visible par l'utilisateur	1760 x1024	590 x343	Jusqu'à 2048 x 1216	Non disponible	Jusqu'à 1728 x 940

Tableau 1. Tableau de comparaison des fonctionnalités des projets *Visible Human* basés sur le Web (55)

## 5.1.2 Exemple 2 : Programme d'apprentissage « Disect » (63)

### 5.1.2.1 Description et utilisation du programme « Disect »

Proposé par l'Université d'Est-Anglie au Royaume-Uni, « Disect » est un programme informatique qui manipule et reconstruit des images tomodensitométriques réelles en trois dimensions. L'utilisateur peut interagir avec les images en faisant défiler les trois plans orthogonaux et ainsi explorer en trois dimensions les données fournies par un scanner réel.

Afin d'être correctement utilisé, « Disect » nécessite une séance de formation interactive d'une heure environ. A partir d'un ordinateur chargé du logiciel, les étudiants apprennent à réaliser des fonctions qui sont simultanément démontrées sur un écran, (par exemple à faire défiler les plans axial, coronal et sagittal et à effectuer des reconstructions d'images de base comme l'arbre artériel). Un enseignement complémentaire est aussi disponible sur demande des élèves.

L'utilisation du programme « Disect » se fait en complément de cours, conférences et parfois de séances de dissection.

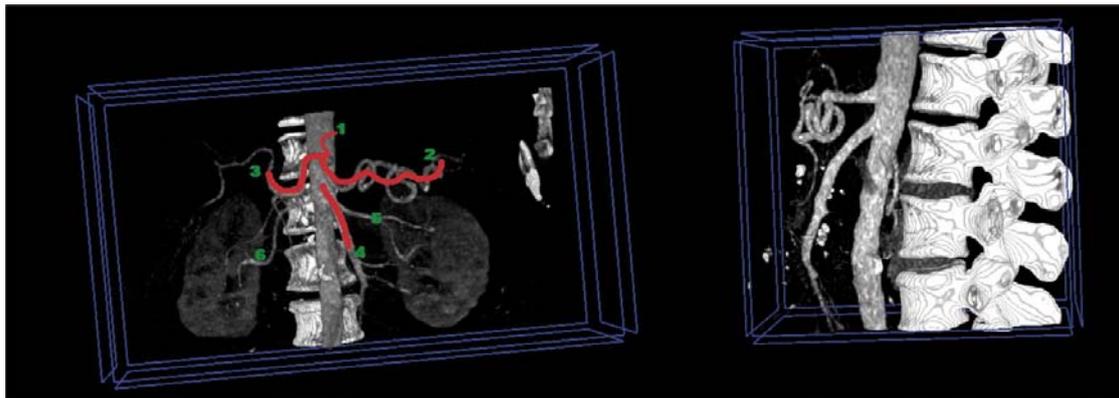


Figure 17. Une reconstruction de l'approvisionnement en sang de l'intestin. Les zooms et les rotations sont possibles et permettent une meilleure appréciation de l'anatomie de l'axe cœliaque et de l'artère mésentérique supérieure. (63)

### 5.1.2.2 Résultats et impressions

La plupart des étudiants ont indiqué que le programme était facile à utiliser et une ressource précieuse pour non seulement l'apprentissage de l'anatomie mais aussi pour la compréhension des scans CT. S'il n'y avait aucune différence dans les résultats entre l'utilisation guidée et l'utilisation autodirigée, les étudiants ayant entrepris le module d'étude d'anatomie spéciale, qui impliquait des séances de dissection en complément, ont, en revanche, obtenu de meilleurs résultats.

Les étudiants participants considèrent que l'apprentissage de l'anatomie peut être amélioré par le recours aux ordinateurs ou aux ressources basées sur l'image. Pour ces apprenants, leur utilisation devrait être considérée par les écoles de médecine. (63)

### 5.1.3 Exemple3 : la modélisation tridimensionnelle de l'oreille externe et de l'os temporal. (64)

#### 5.1.3.1 Introduction

En raison de son accès et de son anatomie particulière, l'os temporal est complexe à étudier, en cours présentiel comme en laboratoire de dissection. Le développement par la Faculté de Médecine de l'Université d'Harvard à Boston, d'un programme de modèle tridimensionnel de l'oreille externe et de l'os temporal a permis une expérience pédagogique qui tendrait à montrer que les modèles tridimensionnels interactifs pourraient aider des étudiants à mieux comprendre et apprendre l'anatomie spatiale complexe de l'os temporal. (65) (66) (67)

#### 5.1.3.2 Description du programme

Ce tutoriel de reconstruction tridimensionnelle a été développé pour être utilisé seul ou en complément d'un enseignement traditionnel (conférences, descriptions de dessins anatomiques bidimensionnels). En plus de cette formation de reconstruction tridimensionnelle, les étudiants peuvent utiliser le logiciel à l'université ou de n'importe quel endroit en le téléchargeant gratuitement.

Le modèle utilisé pour la création de ce programme a été réalisé à partir de coupes histologiques en série de 20 µm d'épaisseur d'un os temporal humain. Les sections ont été numérisées, alignées et segmentées en unités anatomiques constituant un rendu de surface des structures d'intérêt : les espaces temporels de l'os et de l'air, les espaces périlymphatiques et endolymphatiques, y compris l'aqueduc cochléaire, le canal endolymphatique et le sac, l'épithélium sensoriel des labyrinthes cochléaires et vestibulaires, les osselets et la membrane tympanique, les muscles de l'oreille moyenne, l'artère carotide et les nerfs auditifs, vestibulaires et faciaux.(64)

#### 5.1.3.3 Utilisation

Pour chacune de ces structures, la transparence de surface peut être contrôlée individuellement afin de révéler les rapports tridimensionnels entre les repères de surface et les structures sous-jacentes. De plus, le modèle en trois dimensions peut également être re-sectionné dans n'importe quel plan afin d'obtenir une image similaire à une section anatomique.

Sur la figure 18 ci-dessous, est représentée la vision tridimensionnelle des cavités de l'oreille moyenne. La chaîne ossiculaire apparaît en bleu, le nerf facial en jaune, l'appareil cochléaire-vestibulaire en rose, l'artère carotide en rouge et le conduit auditif en bleu clair. Cette figure est mise en comparaison avec la figure 19 qui représente les structures de l'oreille moyenne en deux dimensions.

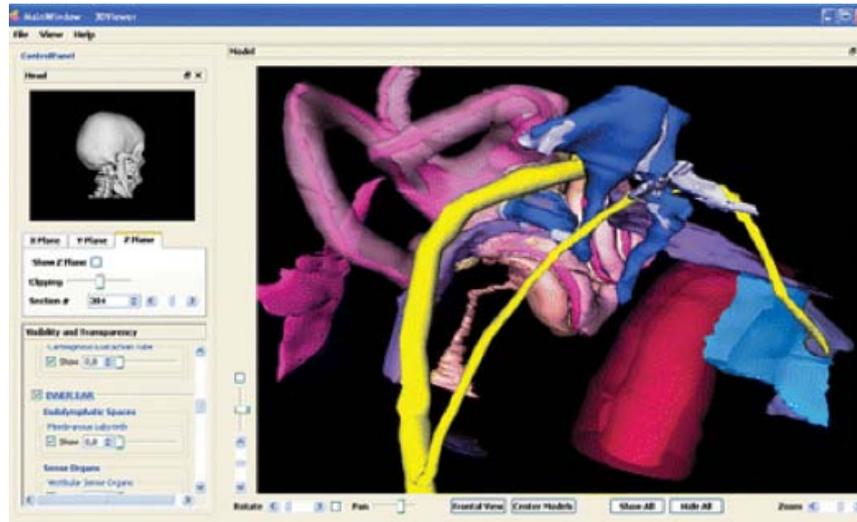


Figure 18. Modélisation tridimensionnelle de l'oreille externe (64)

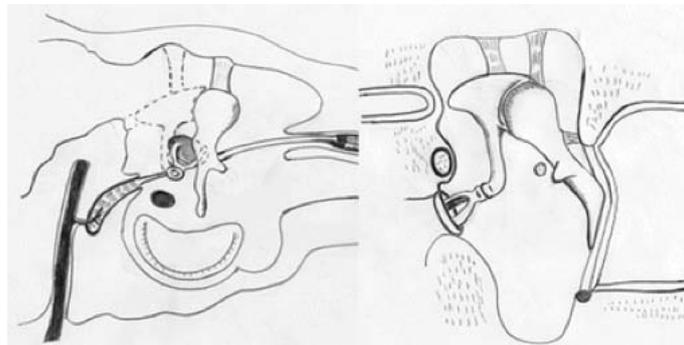


Figure 19. Représentations des sections axiales et coronales des cavités de l'oreille moyenne (64)

Au moins, deux dessins sont nécessaires pour donner des informations sur la disposition en trois dimensions des structures, tandis que le modèle tridimensionnel fournit directement l'information en profitant de la rotation à 360° pour explorer plusieurs angles de vue. La superposition d'images ou le masquage d'éléments permet la simplification du modèle (en se focalisant, par exemple sur les osselets auditifs). (68)

#### 5.1.3.4 Résultats et impressions

Parmi les 161 étudiants ayant eu accès à ce didacticiel, près de 94% l'ont trouvé utile et facile à utiliser (79%). Interrogés également sur leur amélioration perçue dans l'apprentissage par rapport à la lecture seule, 94% ont noté une amélioration de leurs connaissances (après autoévaluation). Concernant l'environnement d'utilisation de ce logiciel, si une grande partie des étudiants étaient disposés à utiliser ce logiciel seul ou en groupe (respectivement 88,46% et 76,93%), la plupart préféreraient l'aide d'un tuteur pour compléter les instructions du logiciel.(64)

## 5.2 Utilisation d'imagerie interactive

### 5.2.1 Les vidéos

#### 5.2.1.1 Introduction

Les avantages de l'usage du multimédia dans le processus d'apprentissage ont été prouvés dans plusieurs études, en particulier dans la conversion des apports cognitifs en mémoire à long terme. (69)

La Faculté des Sciences du Sport et de l'Éducation Physique de l'Université de Lille 2 FS propose aux étudiants en dentaire et en paramédical une conférence vidéo sur le thème de l'anatomie cranio-faciale (70). Ce séminaire enregistré lors du 13<sup>ème</sup> Congrès International Internet et Pédagogie en Science de la Santé et du Sport (IP3S) les 8 et 9 novembre 2012 est toujours disponible gratuitement sur le site de l'université.



Figure 20. Page de présentation de la conférence « le crânio-face dans TOUS ses états »

Les vidéos permettent, non seulement, de faciliter l'apprentissage, mais aussi de se préparer à des procédures médicales ou chirurgicales (71).

Une étude réalisée à l'Université de l'Iowa (EU) en 2016 (72) s'intéresse chez 78 étudiants et professeurs notamment à la fréquence de l'utilisation des vidéos, aux sources de vidéos utilisées, à l'utilité de ces vidéos et aux préférences des modes de préparation à une intervention chirurgicale.

Dans cette étude, il a été constaté que la plupart des personnes interrogées utilisent des vidéos pour se préparer aux interventions chirurgicales, sans aucune différence statistiquement significative entre les étudiants et les enseignants. Toutefois, les apprenants et les enseignants utilisent différentes sources vidéo : les étudiants utilisaient davantage le portail SCORE et YouTube que les enseignants, tandis que ces derniers utilisaient davantage les pages internet sociétales et les vidéos disponibles dans le commerce. Dans l'ensemble, cependant, YouTube est la source la plus utilisée. (72)

### 5.2.1.2 Sources de vidéos

Parmi tous les répondants à l'enquête, 90% ont déclaré utiliser des vidéos pour se préparer à des cas chirurgicaux (étudiants =95%, professeur=83%). Parmi les répondants qui utilisent des vidéos, la source la plus utilisée était YouTube (86%). Les apprenants et les professeurs ont utilisé différentes sources. Les apprenants utilisaient YouTube (95% contre 73%) et le portail SCORE (25% contre 7%) et les professeurs étaient plus susceptibles d'utiliser les pages internet sociétales (67% contre 38%) et les vidéos disponibles dans le commerce (27% contre 5%). L'utilisation d'autres support tels que Acces Surgery , ORLive, MedlinePlus, MedClip et Websurg n'ont pas montré de différences significatives.(72)

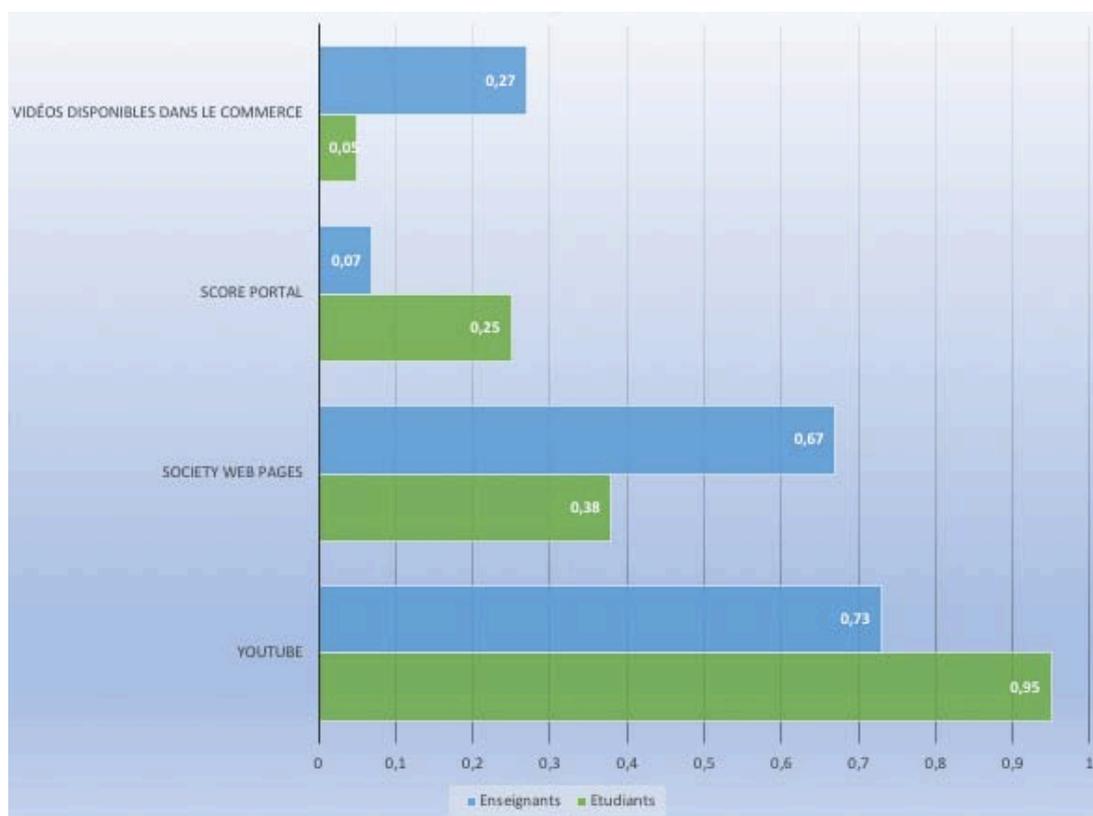


Figure 21. Graphique présentant les sources vidéo spécifiques utilisées par chaque groupe démographique (Etudiants et enseignants). (72)

### 5.2.1.3 Fréquence d'utilisation de la vidéo

En ce qui concerne la fréquence d'utilisation de la vidéo, la plupart des utilisateurs (53%) utilisent des vidéos moins d'une fois par mois. Les étudiants utilisent les vidéos plus fréquemment que les enseignants (70% des étudiants utilisant des vidéos une à deux fois par mois ou une fois par semaine). La plupart des professeurs utilisent des vidéos moins d'une fois par mois. Personne n'a déclaré utiliser des vidéos plus d'une fois par semaine. Lorsqu'on leur a demandé de rendre compte de l'utilité des vidéos, les apprenants et les membres du corps professoral ont indiqué en moyenne une note de 3,7 sur 5 (1= pas utile et 5 = très utile). (72)

#### 5.2.1.4 Avantages de l'utilisation de vidéos

L'utilisation de vidéos présente des avantages évidents lors de la préparation aux procédures chirurgicales. Les vidéos peuvent être une ressource mobile, disponible sur la plupart des appareils électroniques sans fil sur une multitude de sites, ce qui permet à l'utilisateur de contrôler sans limite son apprentissage. Ce sont également des ressources réutilisables qui ne nécessitent pas de maintenance constante. De plus, les vidéos ne requièrent pas d'instruction d'experts ni de temps désigné pour l'apprentissage. Enfin, les vidéos permettent de normaliser la formation chirurgicale en fonction des différences géographiques, des fuseaux horaires, des expériences et des objectifs d'apprentissage. (72)

#### 5.2.1.5 Inconvénients de l'utilisation de vidéos

Comme YouTube est l'un des sites les plus visités d'Internet, le troisième des États-Unis, il n'est pas surprenant que les étudiants et professeurs l'utilisent fréquemment (73). Mais bien que son utilisation pour la préparation chirurgicale soit fréquente, la qualité des vidéos disponibles n'est pas garantie. Plusieurs études ont abordé cette question et évalué la qualité des vidéos YouTube disponibles pour des procédures médicales spécifiques (74)(75). Fischer (74) et Larouche (75) ont ainsi conclu que, bien que YouTube contienne une grande variété de vidéos facilement accessibles, la qualité de la vidéo varie énormément fonction de la source de la publication. Sans un contrôle ou un classement de la fiabilité des vidéos, les étudiants risquent de regarder et d'apprendre d'une vidéo non fiable. De plus, comme pour les médias imprimés, le contenu peut ne pas être à jour avec les normes chirurgicales d'aujourd'hui.

#### 5.2.1.6 Conclusion

L'augmentation relativement récente de la disponibilité et de l'utilisation de la vidéo offre la possibilité de créer de nouveaux outils de formation pour les étudiants et les professeurs et non en remplacement, mais en complément des méthodes d'enseignement dites classiques. Afin de s'assurer que les vidéos recommandées pour la formation des apprenants soient fiables et réellement bénéfiques, un examen ou processus de sélection de ces vidéos devrait être employé en amont. (72)

#### 5.2.2 Images d'anatomie interactives (53)

Adobe Flash MX<sup>TM</sup> a été utilisé pour créer un certain nombre de différents types d'images interactives en ligne à partir de photographies numériques cadavériques et d'illustrations dérivées de manuels. Ce programme a été mis en place à l'Université d'Ottawa pour les étudiants de premier cycle en science de la santé. Il utilise un codage couleur afin de diriger l'attention des étudiants, de faciliter l'association de la structure des noms, d'améliorer la visualisation des contours de la structure, d'aider les étudiants à construire des voies anatomiques et de renforcer les groupements fonctionnels ou anatomiques.

Afin d'optimiser le rendu des structures tridimensionnelles sur un support en deux dimensions, plusieurs outils ont été développés : l'image de fondu (les étudiants utilisent une barre coulissante pour se déplacer dans les tissus) ainsi que l'image en rotation (dans laquelle des organes entiers tels que le crâne ont été photographiés sous huit angles différents). Enfin, les élèves ont bénéficié d'exercices interactifs qu'ils pouvaient essayer à plusieurs reprises afin d'obtenir une rétroaction immédiate sur leurs progrès. (53)

### 5.2.2.1 L'image de survol (*Roll Over*)

L'image de base de survol utilise un codage couleur qui permet à l'apprenant de lier visuellement une structure anatomique avec sa légende. Autant que possible, des illustrations de manuels (76) ont été jumelées à des images de cadavres photographiées selon la même orientation afin de faciliter la comparaison de la structure et de la morphologie entre le diagramme du manuel et la photographie de situation (figure 23).

Pour créer un rendu plus interactif, un certain nombre de légendes ont été ajoutées et sont actionnées au passage de la souris. Ensuite, chacune des structures anatomiques étiquetées a été délimitée et remplie d'une couleur brillante et contrastée, gardant le remplissage partiellement transparent afin que la visibilité de la structure sous-jacente soit maintenue.(53)

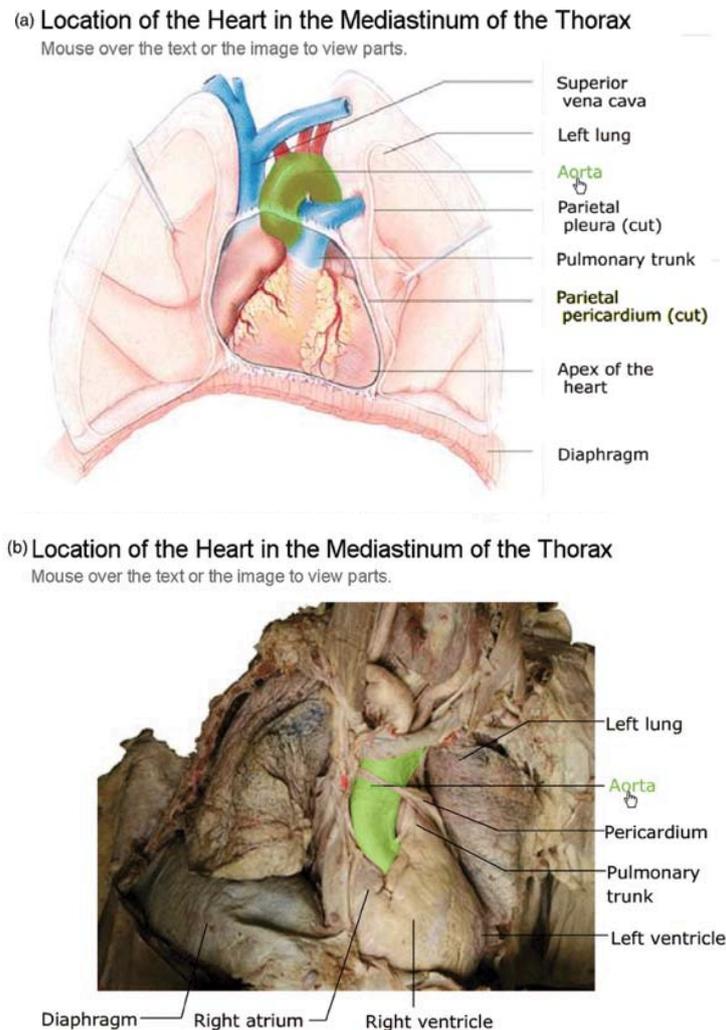


Figure 22. Survol des images de l'emplacement du cœur dans le médiastin du thorax montrant l'aorte. Correspondance entre le manuel (gauche) et la photographie de dissection (droite) (75)

Une comparaison de ces deux images montre que les « espaces vides » qui sont souvent inclus entre les structures pour la clarté des dessins de manuels n'existent pas réellement dans le corps et que les structures sont souvent moins parfaites lorsqu'elles sont vues in situ.

L'utilisation de la couleur et la possibilité d'ajouter des composants surlignés à une structure initiale permettent de diriger l'attention de l'étudiant selon une voie anatomique (exemple : la

voie artérielle descendante dans l'aorte abdominale, les artères iliaques communes gauche et droite (Figure 24)).

De même, le flux sanguin peut être suivi à travers les artères axillaires, brachiales et radiales lorsqu'elles descendent le long du membre supérieur vers le poignet et chaque composants du flux est mis en évidence successivement (Figure 25). Bien que le flux artériel semble simple lorsqu'il est représenté par un dessin de manuel (figure 25a), les élèves sont conscients que l'anatomie du membre supérieur est en réalité plus complexe et que ces artères sont en étroites relation avec les nerfs, muscles et organes environnants. (Figure 25b).

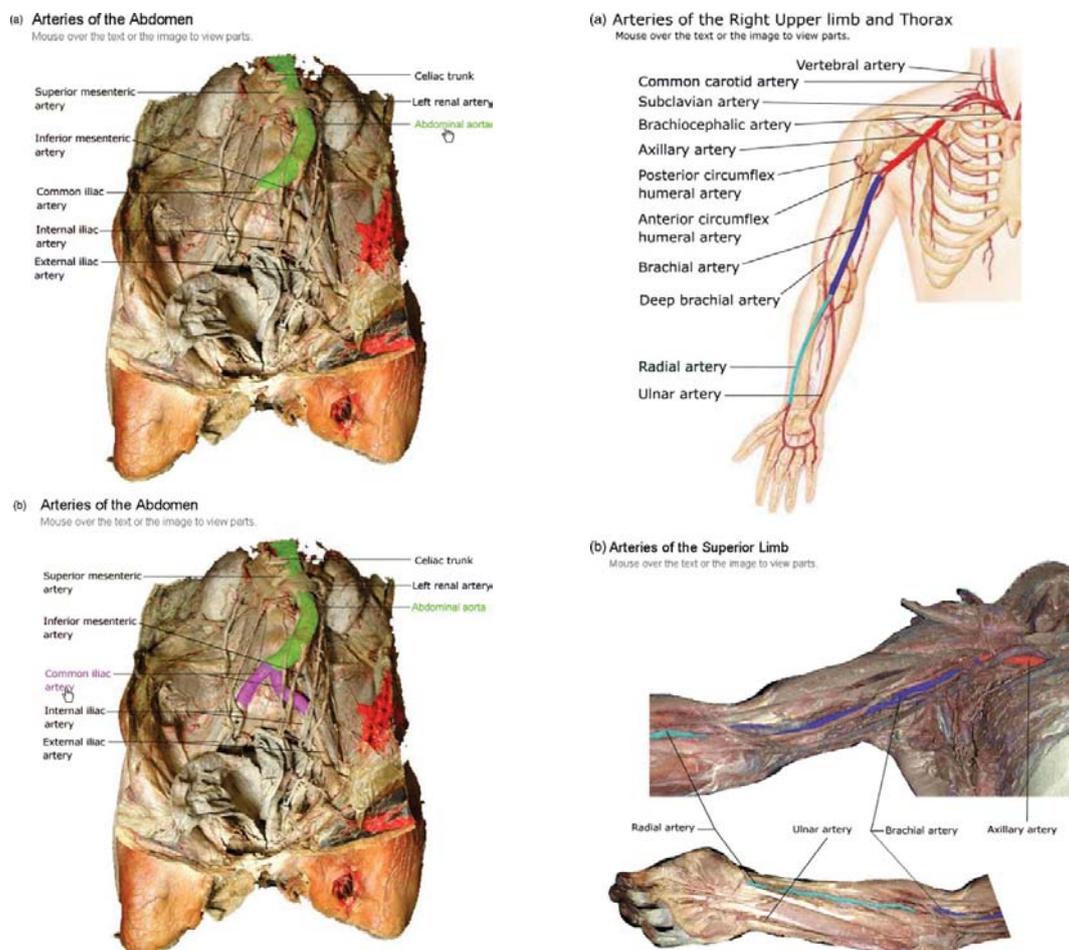


Figure 23. (A gauche) Image de cadavre disséquée pour révéler les principales artères abdominales, (en haut). Survol de l'aorte abdominale, (en bas) avec l'aorte abdominale toujours souligné en vert et mise en évidence des artères iliaques communes en violet.

Figure 24. (A droite) Illustration du flux artériel du membre supérieur issue d'un manuel d'anatomie (en haut (a)). Images de issues de dissection du membre supérieur droit et du thorax (en bas (b)) correspondant à l'image du manuel (Figure 25a). (76)

#### 5.2.2.2 Rotation à degrés multiples

La simple image de rotation n'aborde pas le problème de l'étude tridimensionnelle de l'anatomie. Ainsi, des variations telles que la rotation multi-angle et l'image de fondu ont été développées pour encourager les étudiants à faire des associations entre des structures liées par localisation et / ou fonction.(53)

Pour la rotation à degrés multiples, des échantillons de cadavres ont été montés sur une platine mobile et photographiés à huit angles de rotation entre 0° et 360°. L'utilisateur peut alors utiliser les boutons fléchés pour naviguer complètement autour de la structure du corps dans les deux directions (Figure 26). Comme montré avec cette image rotationnelle interactive du crâne (Figure 26a-c), les étudiants peuvent mettre en évidence une structure unique (par exemple l'os sphénoïde) et la suivre à travers une rotation.



Figure 25. Image de la rotation du crâne avec l'os sphénoïde mis en surbrillance afin qu'il puisse être suivi lorsque le crâne est manipulé pour être vu en (a) 0°, (b) 45° et (c) 90° de rotation. Sur l'image (d), la fonction de regroupement a été activée pour permettre à tous les os du visage d'être visualisés simultanément à 45° de rotation.

### 5.2.2.3 Regroupement.

Pour certaines images de survol, les étiquettes de structure ont été organisées de manière à grouper les composants anatomiques associés. Par exemple, l'étiquette de groupe « os du visage » a été ajoutée à l'image du crâne de telle sorte que lorsque la souris est placée sur cette étiquette de groupe, les étiquettes de tous les os faciaux individuels ainsi que les os eux-mêmes dans le crâne sont mis en évidence en même temps (figure 28d). De plus, en combinant la fonction de groupement avec la capacité de rotation, les élèves peuvent suivre ces os comme une unité structurelle complète lorsque le crâne est tourné et apprécier la relation de ces os entre eux de huit points de vue différents. (53)

Avec cet ajout, le codage des couleurs permet de faciliter l'organisation de l'information et de réduire la charge cognitive de l'apprenant (39)(77). De plus, il a été pris soin de s'assurer que lorsque des images de manuels et des images de cadavres étaient utilisées, une seule couleur corresponde à un seul élément visuel.

#### 5.2.2.4 L'image de fondu

L'image de fondu permet aux élèves d'apprécier la relation entre les structures superficielles et plus profondément situées dans une région d'organe ou de corps. Un minimum de deux photographies de la même structure à différentes profondeurs corporelles a été nécessaires pour la construction de chaque image interactive de fondu. Un curseur lié à la propriété de transparence donne à l'apprenant la possibilité d'ajuster la transparence de l'image afin de produire une gamme de vues allant de la visualisation exclusive de l'image extérieure à des degrés de visibilité relative simultanée des deux images (pour identifier les relations physiques) de seulement l'image intérieure. (78)

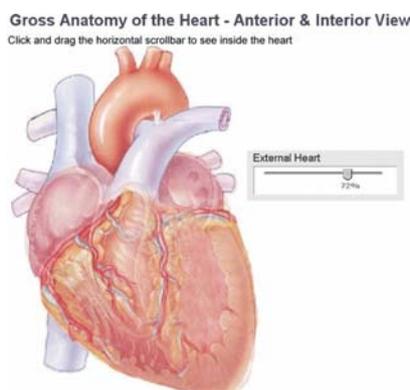


Figure 26. Image du cœur avec une barre coulissante permettant d'ajuster la transparence du plus superficiel des composants de l'image entre 0 et 100%. (76)

#### 5.2.2.5 L'étiquetage par glisser-déposer et auto-évaluation

Des exercices d'étiquetage par glisser-déposer ont été créés pour permettre l'auto-évaluation par la simple reconnaissance d'un nom de structure lors de la visualisation de celle-ci (79). Pour ces exercices d'auto-évaluation, les étudiants choisissent une légende dans la liste alphabétique des étiquettes fournie à gauche du diagramme. Si une légende est déposée dans la bonne case, elle reste en place. Si le libellé est incorrect, il revient automatiquement à sa place d'origine dans la liste.

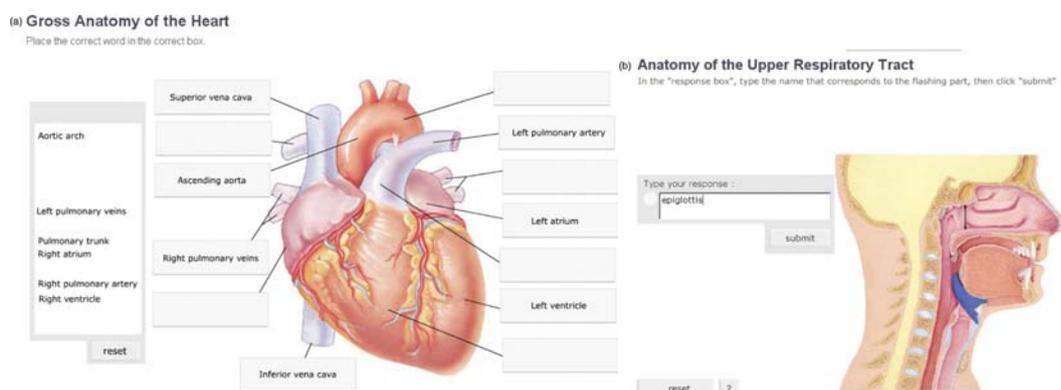


Figure 27. L'image du cœur en glisser-déposer partiellement complétée (à gauche). L'auto-évaluation de l'image des voies respiratoires supérieures dans laquelle l'épiglotte a été mise en évidence et l'étiquette correspondante (à droite). (76)

### 5.2.2.6 Résultats et impressions

Même si les résultats ne différaient pas entre les étudiants qui avaient accès aux outils en ligne et les groupes d'étudiants correspondants de l'année scolaire précédente qui n'en avaient pas, cette étude a révélé que les outils d'apprentissage et d'auto-évaluation étaient largement utilisés et que les étudiants les trouvaient pertinents et favorables à leur auto-apprentissage. Sur les 136 étudiants ayant répondu, plus de 90% ont mis en avant la pertinence du contenu du cours, la clarté des instructions et la convivialité des activités. Parmi les fonctionnalités proposées par l'application, les outils d'apprentissage de l'anatomie, la possibilité de tester ses connaissances en ligne et l'accès illimité aux exercices ont été jugés les plus utiles par les étudiants. L'autotest d'étiquetage nécessite tout de même des ajustements, en effet il a été rapporté un manque de souplesse dans la reconnaissance des réponses possibles (nom de la structure indiqué au singulier ou pluriel, utilisation facultative des majuscules et traits d'union). (53)

## 5.3 Emploi de l'échographie et des ultrasons

Les méthodes d'enseignement de l'anatomie ont été vivement débattues. Les méthodes les plus courantes dans les facultés de Médecine comprennent la dissection, les conférences, les modèles, les programmes informatiques, les vidéos, les images radiologiques 2D et 3D, les manuels scolaires et l'échographie en temps réel. (80) (81)

### 5.3.1 Introduction

L'échographie à l'avantage d'être non invasive. Elle permet la visualisation de l'anatomie tridimensionnelle en temps réel et utilise une technologie qui renforce la pertinence clinique de l'anatomie. En outre, l'utilisation de l'échographie peut renforcer à la fois les relations anatomiques et physiologiques tridimensionnelles et l'application de l'équipement d'échographie dans les futures carrières médicales des étudiants. (82)

### 5.3.2 Réalisation

Une étude réalisée à l'Université de Central Queensland en Australie en 2015 (82) compare les différents types d'apprentissage de l'anatomie humaine proposés dans le programme scolaire : échographie en temps réel et images ultrasonores statiques 2D, manuels anatomiques et d'imagerie, modèles anatomiques, programmes informatiques interactifs démontrant la troisième dimension, conférences magistrales, images radiologiques en post-traitement 2D et 3D, dissection d'organes animaux, construction de modèles anatomiques en trois dimensions à l'aide de pâte à modeler et vidéos. L'échographie n'y est donc pas utilisée en remplacement des méthodes traditionnelles d'apprentissage mais comme un complément à l'enseignement.

Cette étude (83) a deux objectifs : premièrement, évaluer le balayage par ultrasons comme méthode d'enseignement de l'anatomie, et deuxièmement, déterminer les méthodes d'enseignement que les étudiants en échographie et en imagerie médicale jugent les plus efficaces pour comprendre l'anatomie humaine.

### 5.3.3 Résultats

Les résultats présentent l'échographie en temps réel comme une méthode d'apprentissage de l'anatomie très appréciée des étudiants comparée aux programmes informatiques, aux vidéos, aux images radiologiques tridimensionnelles et la dissection. Elle est considérée par les apprenants comme un modèle innovant et privilégié pour encourager l'apprentissage par l'expérience, pour développer des compétences d'équipe et suivre des instructions complexes (84). Tous les résultats sont précisés dans les tableaux suivants (Tableau2 et 3).

	Échographie	Conférences	Livres	Modèles anatomiques	Programmes informatiques	Imagerie radio 3D	Vidéos	Dissection animale
Résultat général	1	2	3	4	5	6	7	8
Donner des informations anatomiques	5	3,5	2	1	3,5	7	6	8
Donner des informations pour d'autres types de cours scientifiques	6	2	1	7	3	5	4	8
Encourager l'apprentissage par l'expérience	1	7	8	2	4,5	3	4,5	6
Développer un esprit d'équipe	1	3,5	6	3,5	8	5	7	2
Suivre des instructions complexes	1	2	4,5	8	6	4,5	7	3
Apprécier les variations anatomiques	1	2	3	5	7,5	4	6	7,5
Fournir la base pour une discipline clinique	2	1	4	7	6	3	5	8
Fournir le vocabulaire anatomique	4	1,5	1,5	7	3	6	5	8
Comprendre l'aspect 3D du corps	3	7	5,5	1	2	5,5	4	8

Tableau 2. Classement de huit méthodes de diffusion d'informations anatomiques par des étudiants en échographie médicale et en imagerie médicale (82)

	Meilleur(s) résultat(s)	Moins bon(s) résultat(s)
Donner des informations anatomiques	Modèles anatomiques	Dissection animale
Donner des informations pour d'autres types de cours scientifiques	Livres	Dissection animale
Encourager l'apprentissage par l'expérience	Échographie	Livres
Développer un esprit d'équipe	Échographie	Programmes informatiques
Suivre des instructions complexes	Échographie	Modèles anatomiques
Apprécier les variations anatomiques	Échographie	Dissection animale/programmes informatiques
Fournir la base pour une discipline clinique	Conférences	Dissection animale
Fournir le vocabulaire anatomique	Conférences/livres	Dissection animale
Comprendre l'aspect 3D du corps	Modèles anatomiques	Dissection animale

Tableau 3. Récapitulatif des méthodes préférées par objectif d'apprentissage (83)

#### 5.4 Site de dissection virtuelle

L'imagerie radiologique et le post-traitement des images ont acquis une grande importance dans de nombreuses disciplines médicales en raison des progrès rapides et de la disponibilité accrue au cours de la dernière décennie (85). Dans la routine clinique d'aujourd'hui, l'évaluation des images radiologiques constitue un élément important dans le travail du médecin. Par conséquent, les étudiants devraient être capables d'interpréter correctement les images radiologiques.

Comme la radiologie et l'anatomie sont étroitement liées, leur enseignement intégré pourrait fournir une plate-forme d'apprentissage permettant une meilleure connaissance des connaissances radiologiques et anatomiques, aidant ainsi à surmonter les déficiences potentielles des étudiants dans la pratique clinique quotidienne. (86)

Une étude réalisée par Rengier (92) en 2009 à l'Université d'Heidelberg (Allemagne) propose à des étudiants un module « anatomie virtuelle préclinique », ce module comprend six séminaires de deux heures chacun, selon le programme anatomique : ostéologie, extrémités, thorax, abdomen et pelvis, tête et cou et système nerveux central.

Le module a été développé en parallèle à l'enseignement régulier de l'anatomie qui est une partie de la première année d'études médicales et se compose de la dissection traditionnelle dans des groupes de dix étudiants et des conférences. À tous les stades d'apprentissage, l'anatomie était directement liée à la radiologie.



Figure 28. Dissection virtuelle du membre inférieur. (87)

Comme montré sur la figure 29 ci-dessus, la visualisation est continuellement traitée en commençant par le rendu du volume tridimensionnel, à partir de la peau (a), des muscles (b), des vaisseaux (c) et des os (d). À n'importe quelle étape de la dissection virtuelle, l'étudiant peut zoomer, dé zoomer et changer l'angle de vision dans toutes les directions.

Les étudiants inclus dans cette étude ont convenu que le module « anatomie virtuelle préclinique » offrait des avantages supplémentaires au cours de dissection traditionnel, notamment une meilleure appréciation tridimensionnelle, une expérience avec des images radiologiques et des outils de post-traitement et une compréhension de l'anatomie améliorée. Ils ont également apprécié un haut degré d'interactivité, de travail indépendant et la possibilité de corréler la dissection réelle avec la dissection virtuelle. (87)

## 5.5 La réalité virtuelle

La réalité virtuelle se généralise dans notre société dans des domaines très différents, de l'industrie au divertissement. Il a également de nombreux avantages dans l'éducation en permettant de visualiser presque n'importe quel objet de manière unique. En effet, le port de lunettes stéréoscopiques plonge l'utilisateur dans un monde virtuel très réaliste. Étudier n'importe quelles structures du corps humain en plaçant l'utilisateur au centre de celles-ci, permet une expérience d'immersion totale de l'apprenant (88). Différentes applications technologiques de réalité virtuelle appliquées à l'anatomie sont actuellement disponibles sur le marché.

Un logiciel de réalité virtuelle (89) a été développé avec l'aide de l'Université de Salamanca (Espagne) en tant qu'outil éducatif. Cette procédure technologique est basée entièrement sur un logiciel qui se déroulera dans des lunettes stéréoscopiques pour donner aux utilisateurs la sensation d'être dans un environnement virtuel, montrant clairement les différents os et foramens qui composent le crâne, et accompagné d'explications audio-visuelles. Tout au long des résultats, la structure du crâne est détaillée à la fois de l'intérieur et de l'extérieur.

### 5.5.1 Mise en œuvre et conception

Si au départ des programmes comme Unity et Unreal ont été conçus dans le but de créer des jeux vidéo, les logiciels sont actuellement utilisés très fréquemment dans la réalité virtuelle.

En effet, la création d'un jeu vidéo et la création d'une expérience de réalité virtuelle sont des tâches très similaires et ces outils - qui ne sont pas les seuls - sont utilisés dans les deux cas. (90)

Le modèle tridimensionnel du crâne présenté ici a été développé à l'aide d'une tomodensitométrie Asteion, par Toshiba Medical Systems (90) suivant le protocole d'étude du crâne : en projection antéropostérieure et en position latérale. Une gamme de modèles anatomiques tridimensionnels de différentes parties du corps humain a également été générée à partir d'images de sections radiologiques obtenues par imagerie (tomodensitométrie, IRM). Ces sections sont ensuite traitées par un logiciel pour pouvoir les manipuler dans des environnements technologiques informatisés.

Lorsque le modèle en trois dimensions a été généré, l'expérience virtuelle peut être programmée grâce à un moteur de jeu vidéo (Unity3D) fournissant une série d'outils et de fonctions qui ont aidé les programmeurs à concevoir des expériences virtuelles en 2D et en 3D.

En plus de programmer toutes les animations, mouvements de caméra, modifications des matériaux de chaque structure osseuse, entre autres, il a été nécessaire de mettre en place des interfaces permettant aux utilisateurs ou aux étudiants de naviguer entre les différentes options offertes par le système.

Cette application est développée afin de fonctionner sur la plupart des différentes lunettes disponibles sur le marché : Samsung Gear VR, Oculus Rift ou Cardboard. Si la plupart des lunettes VR représentent un investissement financier, Cardboard est en revanche un système abordable, disponible sur le marché pour moins de 5€ : c'est une plate-forme de réalité virtuelle développée par Google qui permet aux utilisateurs d'utiliser la plupart des smartphones actuels pour expérimenter la réalité virtuelle. Afin de diminuer le prix de ce projet, n'importe quel smartphone peut être transformé en télécommande (figure 30). Ainsi, un simple casque stéréoscopique et deux smartphones sont nécessaires pour profiter de l'expérience de réalité virtuelle des structures anatomiques du crâne.



Figure 29. Utilisation de la télécommande/smartphone pour l'interaction (89)

### 5.5.2 Fonctionnement

Le menu principal offre aux utilisateurs différentes options :

- Une visite guidée de l'extérieur et de l'intérieur du crâne humain
- Un test d'évaluation qui place l'utilisateur à l'intérieur du crâne, pose une série de questions et répond à chacune d'elles en identifiant l'os correct
- L'assemblage des os de la partie supérieure et inférieure du crâne en utilisant une simulation interactive

Ce programme comprend deux sections différentes de simulation dans lesquelles l'étudiant doit assembler le crâne de ses propres mains. Dans la première section, il doit assembler la partie supérieure du crâne, en choisissant les structures osseuses et en les plaçant au bon endroit. Dans la deuxième section, il doit assembler la base du crâne qui constitue les différentes fosses crâniennes.

L'utilisateur peut également choisir entre les deux niveaux de difficulté différents. Dans le plus simple, les points d'ancrage des os sont illustrés en vert, dans le plus complexe, l'utilisateur n'aura aucune indication ou aide.

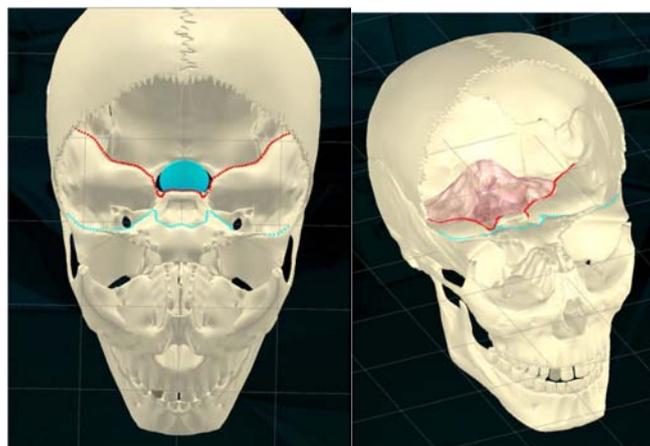


Figure 30. (A gauche) Foramen magnum avec des délimitations de fosses crâniennes décrites par des animations virtuelles et (à droite) la fosse crânienne postérieure avec le cervelet (89)

La reconnaissance des mouvements de l'utilisateur peut être effectuée avec différents appareils, tels que Leap Motion, qui utilise la technologie infrarouge pour détecter les mains et les mouvements de l'utilisateur. Une explication est donnée à chaque fois que l'utilisateur place un os. Toutes les explications sont audio-visuelles, ce qui permet aux personnes malentendantes de profiter de cette expérience de simulation.

### 5.5.3 Les différentes applications de ce type de projet

Les systèmes de réalité virtuelle occupent de nos jours une place de plus en plus importante dans la société et les casques peuvent être acquis à un coût très bas (91).

L'un des aspects les plus intéressants de la technique de réalité virtuelle est qu'elle peut être manipulée et que les utilisateurs peuvent interagir avec l'environnement virtuel généré (92). En conséquence, les utilisateurs peuvent non seulement visualiser un monde virtuel - ici un crâne et ses parties constitutives - mais aussi le manipuler pour simuler une intervention chirurgicale spécifique. Le crâne virtuel se comportera comme un véritable crâne tout au long de l'opération, tandis que l'utilisateur le manipulera de manière très réaliste grâce au mouvement de ses mains. L'objectif est de simuler une opération de la manière la plus réaliste possible.

Pour ce faire, des télécommandes qui transmettent des informations sur les mouvements effectués par l'utilisateur aux lunettes sont utilisées, qui à leur tour interprètent ces données et les affichent afin que l'utilisateur puisse voir ses propres mains se déplacer et effectuer l'opération dans l'environnement virtuel.

## 5.6 Cours en ligne, MOOC

Comme premier pas important, et comme recommandé par Robert Gagné (93), les exercices en ligne s'inscrivent dans un cadre d'objectifs d'apprentissage soigneusement planifiés afin que les étudiants essaient chaque activité dans l'ordre et au stade le plus adapté à leur apprentissage.

La Faculté de Lyon a développé un programme nommé « Anatomie 3D Lyon 1 » (94) qui propose différents types d'activités pour l'apprentissage de l'anatomie. Cet enseignement s'inscrit dans le cadre du projet Ressources Éducatives Libres de l'UNESCO.(95)

Les objectifs du projet « anatomie 3D Lyon 1 » sont les suivants (94):

- Rendre plus attractif l'apprentissage de l'anatomie qui est un sujet important dans de nombreuses disciplines.
- Structurer une ressource pédagogique innovante basée sur la troisième dimension, une technologie capable de pallier certaines difficultés des étudiants.
- Répondre à une demande d'une jeune génération qui a grandi avec l'informatique.

Ce projet propose en accès libre des ressources tridimensionnelles de qualité, gratuites, sans publicité et conformes aux valeurs universitaires. Il contribue à la lutte contre l'échec et répond à une demande des étudiants tout en favorisant l'organisation de formations à distance en anatomie.

Il est basé essentiellement sur l'anatomie fonctionnelle de l'appareil locomoteur et de la motricité et s'inclut dans les programmes de formations paramédicales en kinésithérapie, ergothérapie, psychomotricité et des formations Staps.

### 5.6.1 MOOC FOVEA (Formation Ouverte par le Virtuel en e-learning en Anatomie)

Ouvert en 2014, FOVEA (96) est un MOOC basé sur l'utilisation de la troisième dimension proposé par l'Université de Lyon 1. C'est un cours destiné aux étudiants souhaitant se spécialiser dans le domaine de l'anatomie fonctionnelle. Il propose aux professionnels une autre présentation de l'anatomie à leurs patients et leur permet d'apprendre à leur rythme. L'inscription est gratuite, sans sélection préalable et le nombre d'inscrits n'est pas limité. Aucune certification n'est délivrée pour l'instant, sauf pour les étudiants de l'ISTR-Lyon 1.

#### 5.6.1.1 Organisation du MOOC

FOVEA n'est pas un cours "académique" ou un traité d'anatomie. C'est une approche de l'anatomie dont l'objectif est de permettre de "voir" comment fonctionne le corps, comment il se déplace, agit, se blesse... Les ressources 3D permettent d'imaginer plus facilement comment les os, articulation et muscles fonctionnent en activité.

Les cours se structurent autour des vidéos d'animation 3D en ligne sur la chaîne Youtube « Anatomie 3D Lyon 1 ». Ces vidéos sont utilisées depuis 2009 pour l'enseignement de l'anatomie à l'Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation de l'Université Lyon 1 (formations en masso-kinésithérapie, ergothérapie et psychomotricité). Elles sont également utilisées dans de nombreux établissements de formation publics et privés, français et étrangers. Le succès de cette innovation auprès des enseignants, des étudiants et des internautes est à l'origine de l'organisation de FOVEA.



Figure 31. Page d'accueil du MOOC FOVEA (96)

Ces vidéos sont complétées par d'autres ressources en trois dimensions :

- Des vidéos 3D (non sonorisées) : Les vidéos sont produites en format Quicktime. Elles sont utilisées en présentiel puis mises en ligne.
- Intégration d'images extraites des vidéos 3D à un cours écrit : Le format Quicktime permet d'intégrer des images extraites des vidéos sur un fichier Word. Cette fonctionnalité est utilisée pour la création d'un cours écrit. En début de formation, ce cours est distribué aux étudiants grâce à une clef USB qui peuvent modifier le fichier sur leurs ordinateurs personnels.
- Intégration d'images ou de séquences extraites des vidéos 3D à des QCM
- Intégration d'images extraites des vidéos 3D à des contrôles (continus ou terminaux)
- Vidéos 3D sonorisées ajoutées en 2017 à la demande des étudiants.

- Podcast intégrant les vidéos 3D A l'aide d'une régie, des vidéos 3D peuvent être intégrées à une vidéo où l'enseignant commente les images tout en donnant l'impression d'évoluer à l'intérieur de l'organisme.
- Applications Unity 3D temps réel
- Fichiers permettant l'impression 3D de vertèbres en accès libre sur le site, initié en 2014.

Ces ressources permettent également le déroulement de travaux dirigés d'anatomie en salle informatique avec contrôles continus et terminaux, en particulier avec des promotions aux effectifs importants.

#### 5.6.1.2 Place de l'enseignant et évaluation

Ce système pédagogique modifie le comportement et la place de l'enseignant. Il n'est plus au centre du cours : des images animées et en couleur concentrent l'intérêt des étudiants. Il doit donc commenter en apportant une valeur ajoutée aux cours écrits et aux vidéos. La compréhension de l'apprenant est immédiate mais elle est éphémère. Un des rôles de l'enseignant est donc de conduire l'apprenant à une maîtrise du langage scientifique à partir des notions comprises.

Le MOOC permet également de s'adapter à des effectifs importants lorsque le même cours est dispensé à plusieurs groupes par des enseignants différents et lorsque le temps accordé à l'apprentissage est faible. (97)

Les évaluations anonymes de cet enseignement menées au terme de ce module FOVEA plébiscite cette méthode. A leur entrée à l'université, quasiment tous les étudiants estiment que la 3D est un moyen efficace de favoriser l'apprentissage de l'anatomie. (97)

### 5.7 Les applications sur smartphones / apprentissage sur mobile

Une centaine d'applications permettant d'apprendre l'anatomie à différents niveaux et pour des prix variant de zéro à une trentaine d'euros. Elles sont disponibles sur smartphones, ordinateurs et tablettes. Les versions gratuites d'applications d'anatomie sont souvent incomplètes et ne décrivent que certaines parties du corps mais possèdent parfois plus de 1 million de téléchargement : preuve d'un désir d'apprentissage sur mobile assez fort. L'accès abordable et facile aux appareils mobiles dans la vie quotidienne, sociale et professionnelle offre une chance intéressante d'améliorer l'enseignement et l'apprentissage par ce biais. (98)

#### 5.7.1 Introduction

Le rapport de l'institution EDUCAUSE (99) de 2018 publie qu'environ 95% des étudiants possèdent un smartphone et 40% une tablette. Ces systèmes s'étant totalement intégrés dans la vie quotidienne des apprenants, l'apprentissage par des applications basées sur ces systèmes peut être qualifiée de mobile. L'apprentissage mobile a été défini par différents auteurs. El-Hussein et Cronje (100) par exemple définissent l'apprentissage mobile dans l'enseignement supérieur et affirment que ce terme est divisé en trois composantes : la mobilité de la technologie, la mobilité de l'apprenant et enfin, la mobilité du processus d'apprentissage lui-même. D'autres auteurs comme Giasemi (101) suggèrent que l'apprentissage mobile est "tout type d'apprentissage qui se produit lorsque l'apprenant n'est pas à un endroit déterminé et

prédéterminé, ou un apprentissage qui se produit lorsque l'apprenant tire parti des possibilités d'apprentissage offertes par les technologies mobiles".

En résumé, on peut dire que le terme « apprentissage mobile » fait référence à tout type d'apprentissage utilisant des appareils mobiles qui crée des opportunités d'apprentissage avec une plus grande mobilité et flexibilité (n'importe quand et n'importe où).

### 5.7.2 Exemple d'application

L'une des applications les plus souvent recommandées et une des plus téléchargées se nomme « Atlas d'anatomie humaine » et est proposée par Visible Body sur l'Apple Store ainsi que sur Android dans une version à 12,99 €. Elle est disponible en anglais, français, allemand, italien, espagnol, japonais et chinois simplifié. Mais certaines fonctionnalités au sein même de l'application sont par la suite payantes. Cette application propose des mises à jour chaque année afin de corriger les potentielles erreurs et le manque de précision parfois signalé. La dernière version de 2019, une des plus complètes possède une note moyenne de 4,5/5 et plus de 100 000 téléchargements. Cette application a part ailleurs remporté le prix « meilleurs applis de 2017 - Apple », le « Prix d'excellence-Association of medical illustrators » et la « médaille d'or, outil/ressource par application mobile – digital Health Awards ». (102)

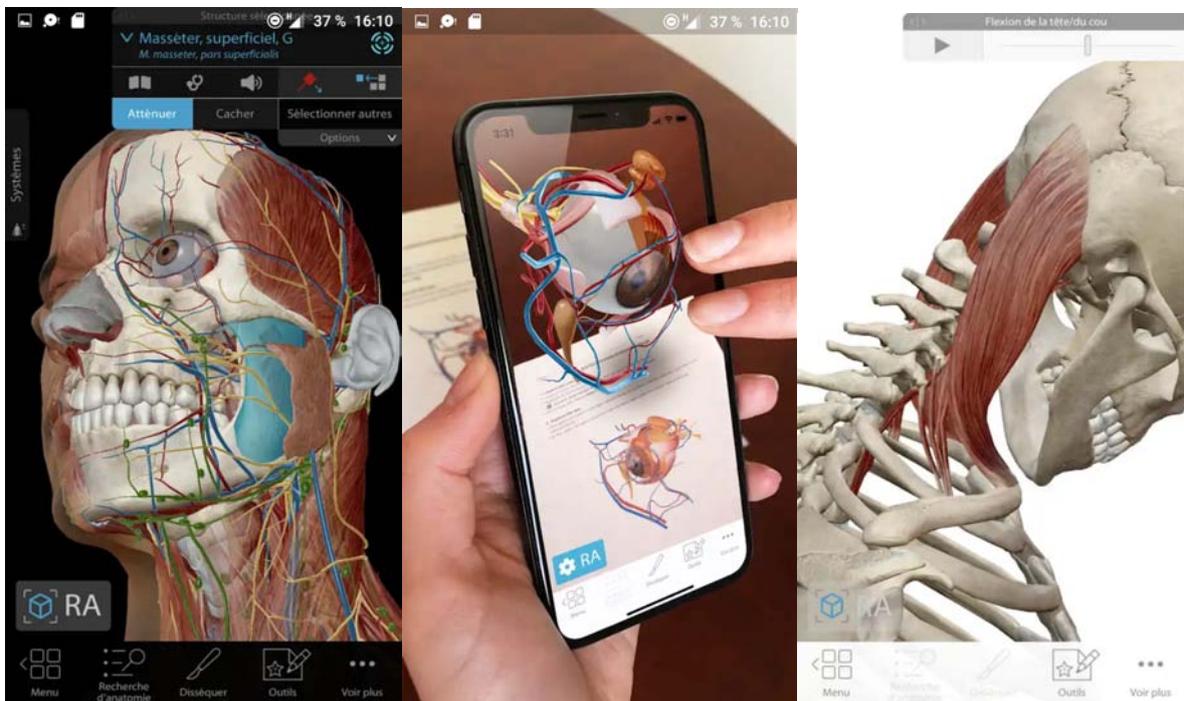


Figure 32. Images tirées de l'utilisation de l'application « Atlas d'Anatomie Humaine » version 2019 (102)

### 5.7.3 Résultats de l'utilisation des applications mobiles

Une enquête réalisée en Californie (103) portant sur un cours de premier cycle en anatomie humaine a examiné l'impact de l'intégration de l'iPad (un groupe sans accès, un groupe avec accès limité et un autre avec accès illimité à l'iPad). Durant le semestre de l'expérience, les étudiants ont été évalués à plusieurs reprises. Les résultats et les perceptions des participants utilisant un iPad s'amélioraient avec le temps. Les résultats suggèrent que si les étudiants ont la possibilité de surmonter la courbe d'apprentissage technologique, les tablettes et les applications pertinentes peuvent être des outils utiles dans les cours d'anatomie humaine.

Une autre étude basée à l'Université de Salamanca sur trente étudiants (104) a comparé une méthode traditionnelle d'apprentissage (le discours d'un enseignant) et l'apprentissage mobile (une application éducative fonctionnant sur iPad). Sur le plan statistique, cette expérience tend à prouver que les performances des étudiants utilisant l'application sont meilleures que pour les étudiants utilisant la technique traditionnelle. Cependant, les appareils mobiles doivent être considérés comme un outil supplémentaire pour compléter les explications des enseignants.

Au contraire, plusieurs études font état d'une mauvaise influence des appareils mobiles sur les performances des étudiants. Lepp et Barkley (105) indiquent notamment qu'une augmentation de l'utilisation du téléphone cellulaire est associée à une baisse des performances scolaires. D'autres, comme Lewis et Burnett (106) signalent qu'il existe certains problèmes liés au coût financier et à la sécurité et affirment qu'il n'existe aucune preuve suffisante pour savoir si ces types d'applications sont adéquats pour répondre aux concepts du programme d'études anatomiques.

Par conséquent, les appareils mobiles et les applications pourraient améliorer les compétences des élèves sur un sujet en leur donnant des ressources et du matériel supplémentaires pour compléter leurs connaissances. Cependant, il est toujours nécessaire de surmonter les obstacles et les difficultés liés à l'adoption de ces méthodes pédagogiques à l'université. La grande quantité d'applications différentes, la qualité des informations, le coût et les différents problèmes techniques sont identifiés comme les principales préoccupations des étudiants pour tirer parti de cette tendance qui prend de plus en plus de place dans nos vies quotidiennes.

## 6 EVOLUTION

Avec la récente émergence des objets connectés tels que les smartphones et l'utilisation d'applications, l'apprentissage en ligne continuera de jouer un rôle important dans l'éducation en fournissant une source de développement professionnel continu et accessible à tout moment. Par exemple, l'application iPhone *Student British Medical Journal* fournit gratuitement des informations sur la recherche, l'éducation, des blogs et des podcasts. (44)

## TROISIEME PARTIE : AVANTAGES et INCONVENIENTS DES SUPPORTS NUMERIQUES

L'utilisation répandue de la technologie de l'information a radicalement modifié la pratique médicale au cours des trois dernières décennies. De nombreuses applications, parfois basées sur le web (107), ont été développées pour améliorer ou remplacer les méthodes d'enseignement médical traditionnelles, telles que les conférences, les manuels et les travaux de laboratoire. L'utilité des méthodes traditionnelles d'enseignement de l'anatomie a également été remise en question avec l'arrivée de l'ère de la technologie de l'information (108). En effet, le coût élevé de la dissection des cadavres a entraîné une augmentation du nombre d'élèves par cadavre, ce qui rend l'accès difficile pour certains élèves. A ce titre, certaines écoles de médecine ont simplement cessé d'offrir ces formes d'enseignement (109). Plus précisément, la dissection serait impossible pour la plupart des étudiants pour l'apprentissage de régions anatomiques spécifiques, telles que l'os temporal. (110)

### 1 AVANTAGES DES SUPPORTS NUMERIQUES

Le récent développement de ce modèle d'apprentissage est attrayant pour les universités et entreprises sur de nombreux points que nous allons détailler.

#### 1.1 Accessibilité

La formation en ligne présente de nombreux types d'approches différentes : des pédagogies actives, participatives, l'apprentissage par le jeu, par la résolution de problème, par des cours. (111) La variété des systèmes proposés permet une meilleure adaptation aux types de personnalité cognitive (types d'apprentissage) et met en avant un système d'apprentissage représentatif de l'université ou l'entreprise.

#### 1.2 Indépendance de l'apprenant

L'un des principaux avantages de l'apprentissage en ligne réside dans le fait que les apprenants contrôlent le contenu, la séquence d'apprentissage, le rythme d'apprentissage, le temps et, souvent, les choix d'offre de médias adaptés aux différents styles d'apprentissage. (111)

#### 1.3 Rentabilité

La plupart des formations en lignes sont de moindre coût, même si certaines spécialités restent onéreuses. Des économies sont aussi réalisées au niveau de la création du cours, ceci est lié à la réduction du temps de formation des instructeurs, des coûts de déplacement, de la réduction du besoin d'infrastructures. Dans le cas particulier de l'apprentissage de l'anatomie, une importante réduction des coûts est observée par rapport à l'utilisation de la dissection dans les programmes pédagogiques. (112)

L'analyse économique des dispositifs en ligne est une question difficile car il faut mettre en relation les calculs des coûts avec l'impact des formations sur les compétences et les pratiques professionnelles. Certains auteurs ont mesuré l'impact du coût dans les choix des formations numériques. En 2012, après avoir comparé deux programmes de formations, l'un présentiel et l'autre en ligne, Maloney (113) détermine que le seul de rentabilité des cours en ligne est supérieur à un système d'éducation en face à face. Mais les analyses coût-efficacité du point de vue des services de santé et les analyses coûts-avantages du point de vue du participant ont favorisé l'éducation en face à face.

#### **1.4 Flexibilité**

L'apprentissage peut être adapté aux besoins de l'individu, il présente un accès facile, peut être utilisé au rythme de l'étudiant et est toujours disponible (si le système est en libre-service). Cette flexibilité de la gestion du temps est intéressante dans les cas de télétravail ou en utilisation dans la formation continue. Son utilisation dans l'apprentissage de l'anatomie est intéressante sur ce point car il permet à l'étudiant de gérer son temps d'apprentissage, ce qui est impossible en cours présentiel ou en dissection. De plus, dans le cas de la dissection les élèves sont souvent présents en plus grand groupe et n'ont pas tous accès au temps d'apprentissage qui leur est nécessaire. L'étudiant devient actif de son apprentissage et développe son indépendance. (112)

#### **1.5 Contenu qualitatif**

Grâce à la disponibilité d'un nombre important de ressources d'apprentissage en ligne créées au fil des ans, l'apprentissage en ligne améliore l'accessibilité à du matériel éducatif de qualité. De plus l'accès à des ressources et à des formations provenant d'experts est largement simplifié et mis à la portée d'un plus grand nombre. (44)

En comparaison avec l'utilisation de la dissection comme méthode d'apprentissage de l'anatomie cervico-céphalique, les supports numériques permettent de visualiser des parties qui ne sont pas toujours facilement dissécables et visibles. (64)

Les études quantitatives et qualitatives de l'apprentissage collaboratif en médecine ont montré des niveaux plus élevés de satisfaction des apprenants, des améliorations dans les connaissances, la conscience de soi, la compréhension des concepts, la réalisation des objectifs du cours, et des changements dans la pratique. (114)

#### **1.6 Facilité de la mise en place et de l'utilisation**

Si certains enseignements en ligne nécessitent une formation pour être utilisés correctement, la plupart présentent un fonctionnement instinctif. D'un point de vue technique l'apprenant n'a pas de maintenance à faire car le contenu et le support de formation sont hébergés et sécurisés ailleurs. L'enseignant, quant à lui, doit être formé à l'informatique mais les technologies d'apprentissage électronique rendent la révision et la mise à jour du matériel éducatif électronique plus simples et plus rapides que les documents imprimés. (117)

#### **1.7 Système d'évaluation varié**

Les évaluations présentes dans ces formations sont extrêmement variées. Elles peuvent être présentes en début, en cours ou à la fin de l'apprentissage et servent à l'évaluation des prérequis, à l'auto-évaluation, à l'évaluation formative, sommative ou encore certificative. Cela permet des retours immédiats ou différés, synthétiques ou complets et permet de contrôler l'efficacité de l'apprentissage. (112)

#### **1.8 Ludique et innovant**

Selon McKendree (115), les apprenants retiennent plus facilement lors de l'utilisation d'ordinateurs ou d'objets électroniques. La plupart des étudiants dits de la « génération Y » (nés en occident entre les années 1980 et 2000) préfèrent l'utilisation de l'informatique à celui d'un manuel dans leur programme éducatif, surtout lorsqu'il présente un composant interactif (44).

L'usage d'un contenu et de stratégies innovantes pour l'apprentissage permettent une métacognition facilitée, une possibilité d'exploiter et développer des interactions de qualité plus facilement. (112)

L'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) par cette « génération Y » les différencie des générations précédentes d'étudiants et de leurs enseignants. Certaines différences sont tellement importantes que pour s'adapter aux compétences et aux intérêts de ces « natifs du numérique » la nature même de l'éducation doit fondamentalement changer. Ils sont considérés comme des apprenants expérientiels actifs, compétents dans le multitâche et dépendants des technologies de communication pour accéder à l'information et interagir avec les autres. (116)

Dans une étude réalisée par l'Université de médecine d'Harvard (Etats-Unis), les tuteurs et étudiants ont décrit les ressources multimédias utilisées (l'écran plasma et l'accès internet) comme ayant un impact « très positif » sur les tutoriels (les tuteurs avec une médiane de 2 et les étudiants une médiane de 1- 1 étant un impact très positif et 5 impact très négatif). (112)

## 2 INCONVENIENTS DES SUPPORTS NUMERIQUES

Développer des infrastructures pour soutenir l'apprentissage en ligne dans le cadre de la formation médicale nécessite de gros investissements en termes d'argent, de temps, d'espace web / internet, de compétences et d'administrateurs. Cela nécessite également un processus solide de contrôle qualité du contenu du matériel éducatif dans les ressources électroniques (par exemple les méthodes d'examen) et d'évaluation de son utilité (par exemple, est-il facile de naviguer dans le matériel en ligne ? Des compétences informatiques particulières, du matériel ou des logiciels sont-ils requis ?) (44). La plupart de ces difficultés ont été mises en évidence par une enquête réalisée en 2006 avec le soutien de la commission européenne (Figure 34).

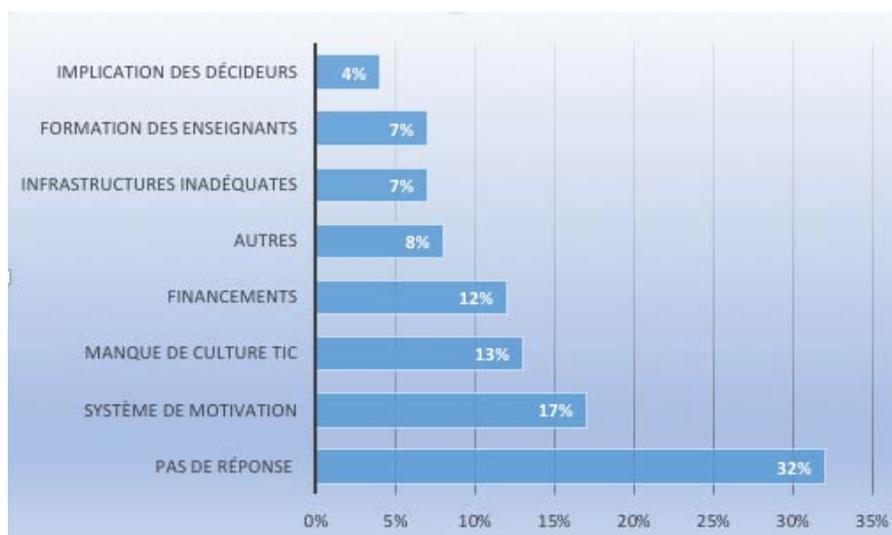


Figure 33. Difficultés rencontrées au démarrage du dispositif dans les établissements supérieurs français, selon l'enquête menée par projet E-LUE. (117)

### 2.1 Freins économiques

Dans le domaine de la santé, une étude réalisée en 2008 (118) montre que peu d'établissements consentent à allouer un budget propre à la formation numérique. En effet, développer des infrastructures pour soutenir l'apprentissage en ligne dans le cadre de la formation médicale nécessite de gros investissements financiers. Même s'ils sont rapidement rentables, l'utilisation et la gestion de supports numériques requièrent la création d'un espace informatique, la formation d'enseignants, et d'administrateurs. (44)

En 2011, le FFFOD (Forum français pour la Formation Ouverte et à Distance) publie un dossier « Financement et mise en œuvre de la FOAD. Vademecum des bonnes pratiques » (119) qui identifie les trois catégories de coût des systèmes d'apprentissage numérique décrites ci-dessous.

#### 2.1.1 L'infrastructure (installation, équipement et logiciels)

Afin de pouvoir offrir l'accès à des supports numériques d'apprentissage, les universités doivent mettre en place une salle informatique équipée d'ordinateurs ou tablettes avec un accès à Internet. Si le e-learning est asynchrone, elles offrent parfois aux apprenants le matériel informatique nécessaire, mais cet équipement est à la charge des apprenants dans la plupart des cas. (44)

### 2.1.2 La conception et la gestion des contenus (créateur, hébergeur et administrateurs)

La création de matériel d'apprentissage en ligne est réalisée par des professionnels de l'informatique conjointement avec des enseignants de la matière en question et implique plusieurs éléments : une fois le contenu développé, il doit être géré, fourni et normalisé. Pour les types d'enseignements disponibles sur internet, le financement d'un hébergeur est nécessaire. La mise en place de supports personnalisés à une université ou entreprise peut donc être onéreuse (applications, modèles 3D, tutoriels, l'apprentissage par cas, hypermédia, et des liens Web). Afin de réduire les coûts, la plupart des enseignants utilisent des systèmes déjà existants ou moins onéreux à créer (MOOC). La gestion de contenu en lui-même comprend toutes les fonctions administratives (par exemple, le stockage, l'indexation et le catalogage) nécessaires pour rendre le contenu d'apprentissage en ligne accessible aux apprenants. Par exemple les portails, les dépôts, les bibliothèques numériques, les systèmes de gestion de l'apprentissage, les moteurs de recherche et les portefeuilles électroniques. Un système de gestion de l'apprentissage, par exemple, est un logiciel basé sur Internet qui facilite la livraison et le suivi de l'apprentissage en ligne dans un établissement. (43)(44)

### 2.1.3 Le service lié aux prestations proposées dans le dispositif

La présence d'un instructeur est nécessaire pour la plupart des formations proposées, que ce soit pour l'usage du support en lui-même (notamment les modalités de tutorat) ou le contrôle des connaissances. Cela implique également un processus solide pour évaluer et contrôler la qualité du contenu du matériel éducatif dans les ressources électroniques. (44)

L'intervention d'autres acteurs que l'enseignant dans la réalisation et la gestion des enseignements pose la question de leur statut et leur reconnaissance. Outre les fonctions classiques au sein des établissements supérieurs (tuteurs, moniteurs, assistants) et les spécialités attendues dans ce domaine (ingénieurs en informatiques, ingénieurs réseaux, designers multimédias), on voit apparaître des « commission de validation » des contenus pédagogiques, des « coordinateurs » de la formation à distance ou encore des « ingénieurs pédagogiques ». (118)

## 2.2 Freins pédagogiques

### 2.2.1 Formation des enseignants

L'usage de support numérique ne se résume pas seulement à la mise en place d'outils informatiques, mais nécessite également des compétences pédagogiques chez les enseignants. Or dans le cadre actuel de l'enseignement supérieur, le manque de formation est un obstacle majeur au développement des usages du numérique. (120)

### 2.2.2 Isolement de l'apprenant

Un des principaux points négatifs à l'utilisation des supports numériques est la solitude de l'apprenant, l'absence d'interlocuteur ou le manque d'accompagnement qui peut mener à une perte de la motivation. L'auto-formation peut même être inefficace si elle n'est pas dirigée correctement (les apprenants peuvent manquer des informations importantes). Au contraire, de bons enseignants raccourcissent le processus d'apprentissage en fournissant des informations pertinentes ainsi que des évaluations, des conseils et des exemples. Ils dirigent et motivent les étudiants, créent des interactions en direct, utilisent leur expérience et leurs compétences pour

enseigner et épanouir le processus d'apprentissage - toutes les caractéristiques hautement considérées d'un environnement d'apprentissage positif. (44)

### 2.2.3 Prérequis à l'utilisation des outils numériques

L'apprentissage en ligne exige également de la part des étudiants un niveau adéquat en informatique. La plupart des enseignements nécessitent pour les apprenants un accès aux ordinateurs personnels, tablettes et/ou internet. Et si la majorité des nouvelles générations possèdent les aptitudes et l'accès aux outils informatiques, cela peut être un frein pour d'autres générations.(115)

### 2.2.4 Défauts haptiques des systèmes numériques

La perception tactile, même si elle commence à être développée sur des supports électroniques, reste l'atout majeur de l'utilisation de la dissection. Les étudiants y ont l'occasion de manipuler les structures corporelles afin d'apprécier leur forme tridimensionnelle, visualiser leur interrelation avec les tissus et les organes environnants et développer un regard éthique et moral envers le corps humain. (53)

Si la conceptualisation de la nature multidimensionnelle du corps humain est retrouvée dans la plupart des supports numériques concernant l'anatomie, la variabilité anatomique ne peut être apprécié sur ce type de support. (112)

L'acquisition de techniques pratiques de dissection est utile pour la formation chirurgicale des étudiants et seul un simulateur de chirurgie peut fournir un apprentissage anatomique et chirurgical. (121)(122)

## 2.3 Freins organisationnels

Une étude réalisée par Demos e-learning Agency en 2008 (123) précise ainsi que près d'un apprenant sur deux rencontre des problèmes d'organisation dans le temps de son apprentissage et ressent également des difficultés techniques. La plupart des formations dites classiques proposent un système où l'apprenant est majoritairement passif, le changement qu'entraîne l'utilisation d'un système présentant l'étudiant comme autonome dans sa gestion du temps et support peut être délicat à gérer.

## 2.4 Freins juridiques

### 2.4.1 Droits d'auteurs

Un formateur qui réalise un document pédagogique à partir de différents éléments est présumé titulaire des droits d'auteur si l'œuvre est originale, c'est-à-dire si on peut voir dans la manière dont il a concrétisé son document pédagogique l'empreinte de sa personnalité notamment dans les choix qu'il a faits sur la disposition et l'enchaînement des supports pédagogiques.

Plusieurs auteurs personnes physiques ou même personnes morales (organisme de formation) peuvent être considérés comme auteurs de la même œuvre. (120)

### 2.4.2 Le plagiat

Le plagiat est également un problème potentiel, avec de nombreux étudiants affichant leur travail ou thèses en ligne. (44) Or, il n'existe pas de régime juridique particulier pour le plagiat, il constitue une contrefaçon définie pas le code de la propriété intellectuelle comme passible d'amende, d'emprisonnement et de sanctions disciplinaires dans le cadre du règlement des études. (120)

### 2.4.3 Secret médical

Toute diffusion de photographies ou de vidéos d'une personne dans le cadre d'une action de formation en *e-learning* (mise à jour de profil, réalisation de trombinoscope de promotion, etc.) doit être soumise à une autorisation écrite préalable quel que soit le mode de diffusion de l'image.

L'autorisation doit prévoir de manière précise le contexte et le support d'utilisation de l'image. La photo ou la vidéo ne doit pas être réutilisée dans un autre contexte sans un nouveau consentement exprès de la personne concernée. Les images médicales diffusées au cours d'une formation doivent être strictement anonymes sous peine de violation du secret médical pénalement sanctionnée.(41)

### 3 CONCLUSION

Au fil des années, la société a vu se développer un certain nombre de nouveaux supports numériques pouvant servir à l'apprentissage (smartphone, tablettes...). L'accès à internet et à ces supports est de plus en plus courant pour les particuliers comme pour les structures universitaires ou entreprises. L'utilisation répandue de cette technologie de l'information a radicalement modifié la pratique médicale au cours des trois dernières décennies. De nombreuses applications, parfois basées sur le web, ont été développés pour améliorer ou remplacer les méthodes d'enseignement médical traditionnelles, telles que les conférences, les manuels et les travaux de laboratoire.

Le large éventail disponible de supports numériques permet de créer un apprentissage de l'anatomie cervico-cephalique adapté à la demande des enseignants et aux progrès des apprenants. L'intégration de cet apprentissage en ligne dans les programmes de formation médicale existants doit tout de même être le résultat d'une évaluation des besoins. (124).

En revanche, les étudiants ne voient pas l'apprentissage en ligne comme remplaçant totalement la formation traditionnelle dispensée par un instructeur, mais plutôt comme un complément, formant une stratégie d'apprentissage mixte.(125) (126)

Ces supports numériques peuvent être améliorés ou complétés par un tutoriel complet avec un accès direct à l'enseignant, via un forum ou une messagerie instantanée pour correspondre à la demande des étudiants (112), ou encore le développement de sessions de groupe dans lesquelles chaque étudiant utilise son propre ordinateur sous la supervision d'un enseignant. (68)(64)

L'apprentissage en ligne peut être utile pour renforcer les connaissances, développer la vision tridimensionnelle et participer à la formation continue. Cependant, sa valeur est limitée dans l'enseignement de la santé et des compétences cliniques. En effet, certains sujets comme l'examen physique et les techniques chirurgicales nécessitent une observation et une pratique directes. (44)

Les étudiants mettent notamment en avant un décalage entre leurs connaissances théoriques, qui ne sont pas toujours prouvées par la dissection, et les difficultés rencontrées dans la salle d'opération. Le type de support numérique en trois dimensions peut aider à combler ce fossé et améliorer le transfert des connaissances théoriques vers une utilisation plus pratique. (121)

Bien que l'anatomie en trois dimensions donne des informations précieuses sur l'organisation des structures, elle ne fournit toutefois pas l'entraînement haptique nécessaire à la chirurgie. Si l'utilisation de modèles tridimensionnels avec des simulateurs chirurgicaux permet de répondre à ce besoin, la dissection reste un outil majeur pour fournir à la fois un apprentissage anatomique et une formation chirurgicale. (53) (121)

Dans l'enseignement médical postuniversitaire, l'apprentissage en ligne peut fournir des ressources précieuses pour actualiser les connaissances et contribuer à la formation continue des professionnels de santé (44).

## TABLE DES FIGURES

Figure 1. Rondelles crâniennes de la collection de M de Baye (6) .....	12
Figure 2. Crâne de la collection de M de Baye, provenant du département de la Marne (6)...	12
Figure 3. Crâne trépané de la sépulture Franque de Limet (Belgique) (6).....	12
Figure 4. Crâne Péruvien trépané (6).....	12
Figure 5. Crâne trépané de Chaclacayo (Pérou) (6).....	12
Figure 6. Extrait du papyrus d'Ebers, conservé à Leipzig (9).....	13
Figure 7. Gravure de Claude Galien (14).....	14
Figure 8. Livre des simples médecines. Chêne à galles et gallitricum. (15).....	15
Figure 9. André Vésale (à gauche) (17).....	17
Figure 10. Gravure de 1612 représentant le théâtre anatomique de Leyde (à droite) (18) .....	17
Figure 11. La dissection par Johannes de Ketham publié dans <i>Fasciculus medicinae</i> 1491 (19) .....	18
Figure 12. Les cinq grands mouvements pédagogiques contemporains (28).....	20
Figure 13. Page de références (à gauche) et page de navigation (à droite) (55) .....	30
Figure 14. Manipulation du volume dans le sens sagittal.(55).....	31
Figure 15. Cerebrum surligné et étiqueté (à gauche). Cerebrum et autres tissus enlevés (à droite) (55).....	31
Figure 16. Modules d'apprentissage proposés par l'Université du Michigan (59) .....	32
Figure 17. Une reconstruction de l'approvisionnement en sang de l'intestin. Les zooms et les rotations sont possibles et permettent une meilleure appréciation de l'anatomie de l'axe cœliaque et de l'artère mésentérique supérieure. (63).....	35
Figure 18. Modélisation tridimensionnelle de l'oreille externe (64).....	37
Figure 19. Représentations des sections axiales et coronales des cavités de l'oreille moyenne (64).....	37
Figure 20. Page de présentation de la conférence « le crânio-face dans TOUS ses états » .....	38
Figure 21. Graphique présentant les sources vidéo spécifiques utilisées par chaque groupe démographique (Etudiants et enseignants). (72) .....	39
Figure 22. Survol des images de l'emplacement du cœur dans le médiastin du thorax montrant l'aorte. Correspondance entre le manuel (gauche) et la photographie de dissection (droite) (75) .....	41
Figure 23. (A gauche) Image de cadavre disséquée pour révéler les principales artères abdominales, (en haut). Survol de l'aorte abdominale, (en bas) avec l'aorte abdominale toujours surligné en vert et mise en évidence des artères iliaques communes en violet.....	42
Figure 24. (A droite) Illustration du flux artériel du membre supérieur issue d'un manuel d'anatomie (en haut (a)). Images de issues de dissection du membre supérieur droit et du thorax (en bas (b)) correspondant à l'image du manuel (Figure 25a). (76).....	42
Figure 25. Image de la rotation du crâne avec l'os sphénoïde mis en surbrillance afin qu'il puisse être suivi lorsque le crâne est manipulé pour être vu en (a) 0°, (b) 45° et (c) 90° de rotation. Sur l'image (d), la fonction de regroupement a été activée pour permettre à tous les os du visage d'être visualisés simultanément à 45° de rotation. ....	43
Figure 26. Image du cœur avec une barre coulissante permettant d'ajuster la transparence du plus superficiel des composants de l'image entre 0 et 100%. (76) .....	44
Figure 27. L'image du cœur en glisser-déposer partiellement complétée (à gauche). L'auto- évaluation de l'image des voies respiratoires supérieures dans laquelle l'épiglotte a été mise en évidence et l'étiquette correspondante (à droite). (76) .....	44
Figure 28. Dissection virtuelle du membre inférieur. (87).....	49
Figure 29. Utilisation de la télécommande/smartphone pour l'interaction (89).....	51

Figure 30. (A gauche) Foramen magnum avec des délimitations de fosses crâniennes décrites par des animations virtuelles et (à droite) la fosse crânienne postérieure avec le cervelet (89) .....	51
Figure 31. Page d'accueil du MOOC FOVEA (96).....	53
Figure 32. Images tirées de l'utilisation de l'application « Atlas d'Anatomie Humaine » version 2019 (102) .....	55
Figure 33. Difficultés rencontrés au démarrage du dispositif dans les établissements supérieurs français, selon l'enquête menée par projet E-LUE. (117).....	60

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1. Tableau de comparaison des fonctionnalités des projets <i>Visible Human</i> basés sur le Web (55).....	34
Tableau 2. Classement de huit méthodes de diffusion d'informations anatomiques par des étudiants en échographie médicale et en imagerie médicale (82) .....	47
Tableau 3. Récapitulatif des méthodes préférées par objectif d'apprentissage (83) .....	48

## BIBLIOGRAPHIE

1. Dictionnaire Larousse. Définition anatomie.  
<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/anatomie/3307>
2. Dictionnaire Larousse. Définition paléopathologie.  
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/paléopathologie/57383?q=paleopathologie#57052>. In.
3. Buquet-Marcon & al. A possible Early Neolithic amputation at Buthiers-Boulancourt (Seine-et-Marne), France. *Rev Antiquity*. 2009
4. Dictionnaire Larousse. Définition trépanation.  
<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/trépanation/79427>.
5. Broca P. Sur les trépanations du crâne et les amulettes crâniennes à l'époque Néolithique. Congrès international d'anthropologie et d'archéologie préhistorique. Budapest: 1876.
6. Albert de Nadaillac. Mémoire sur les trépanations préhistoriques. In: Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres. Paris: Imprimerie Nationale; 1886 (en ligne) [https://www.persee.fr/doc/crai\\_0065-0536\\_1886\\_num\\_30\\_2\\_69202](https://www.persee.fr/doc/crai_0065-0536_1886_num_30_2_69202)
7. MacCurdy, G. Human skeletal remains from the highland of Peru. *Am J Phys Anthropol*. 1923;6: 217-329.
8. Cyril P. Brian. Le Papyrus Ebers. Londres : Geoffrey Bles; 1930. [En ligne] [http://oilib.uchicago.edu/books/bryan\\_the\\_papyrus\\_ebers\\_1930.pdf](http://oilib.uchicago.edu/books/bryan_the_papyrus_ebers_1930.pdf)
9. Illustration du papyrus d'Ebers [En ligne] <https://www.ub.unileipzig.de/9000/54d8b146f3e91b134c000038/apps/55327c81569c2c2d3d000ed3/>.
10. Graber MC. La médecine au temps des pharaons. Conférences certificat d'histoire de la médecine. Lyon. [En ligne] <https://clarolineconnect.univ-lyon1.fr/resource/open/file/1663649>
11. Jean R-A. Médecine et chirurgie dans l'ancienne Égypte. *Pharaon Magazine* 2013 ; 11: 46-51.
12. Bariéty M. Coury CH. Histoire de la Médecine. Paris : Librairie Arthème Fayard ; 1963: 67- 215, 195-215, 325-400, 401-468.
13. Encyclopédie de L'Agora. Biographie d'Hippocrate. [En ligne] <http://agora.qc.ca/dossiers/Hippocrate>
14. Dictionnaire Larousse. Biographie Claude Galien.  
[https://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/Claude\\_Galien/120690](https://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/Claude_Galien/120690).

15. Platearius M. Livre des simples médecines. Dijon: 1453. Bibliothèque nationale de France. Département des manuscrits. [En ligne]  
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b52508869n.image>
  
16. Vons J. Histoire de la médecine à la Renaissance: Textes médicaux latins. Centre d'Etudes Supérieures de la Renaissance. [En ligne] <http://www.cesr.univ-tours.fr>
  
17. Hamman E. André Vésale. 1861. [En ligne]  
<https://www.digitalcommonwealth.org/search/commonwealth:g732d954s>
  
18. Swanenburgh W et Cornelisz van't Woudt J. The anatomical theatre of Leiden University. 1644. [En ligne]. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatomical\\_theatre\\_Leiden.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatomical_theatre_Leiden.jpg)
  
19. Johannes De Ketham J. Fasciculo di medicina. Venise: Sebastiano Manili; 1493. [En ligne]  
<https://www.metmuseum.org/toah/works-of-art/38.52/>
  
20. Androustos G. L'urologie dans les planches anatomiques d'André Vésale (1514-1564). Prog En Urol. 2005 ;15 : 544-550.
  
21. Rongières M. Ambroise Paré et l'orthopédie pédiatrique. Toulouse [En ligne]  
<http://www.sofop.org/Data/ModuleGestionDeContenu/application/283.pdf>
  
22. Foucambert J. Apprentissage et enseignement. Comm Langages. 1976;32(1):7-17.
  
23. Dictionnaire Larousse. Définition apprentissage.  
<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/apprentissage/4748?q=apprentissage#4722>.
  
24. Dictionnaire Larousse. Définition enseignement.  
<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/enseignement/29804?q=enseignement#29703>.
  
25. Musial M, Pradere F et Tricot A. Comment concevoir un enseignement. Bruxelles: De Boeck; 2012.
  
26. Altet M. Les Pédagogies de l'apprentissage. Paris: Presses universitaires de France; 1997.
  
27. Pinto Gomes P. L'objectif de la pédagogie Montessori est l'épanouissement de l'enfant et l'éducation à la paix. La Croix. Sept 2017;
  
28. Lisowski M. L'e-tutorat. Actu Formation Permanente. Dossier panorama de la FOAD. 2010 ; 220: 43-57.
  
29. Watson JB. Psychology as the behaviorist views it. Psychol Rev. 1913; 20: 158–177.
  
30. W. Köhler. Psychologie de la forme. Collection Idées. Paris : Gallimard; 1964.
  
31. Juillet P. Dictionnaire de la Psychiatrie. Paris: Éditions du CILF; 2000.

32. Andler D. Introduction aux sciences cognitives collection Folio essais. Paris : Gallimard, 2004: 17-18.
33. Piaget J. La construction du réel chez l'enfant. Paris: Delachaux et Niestlé, 1937.
34. Vygotski L. Psychisme, conscience, inconscient. Conscience, inconscient, émotions, Paris: La Dispute; 2003.
35. Tomei L. Connectivisme : Une théorie de l'apprentissage pour l'ère du numérique, International Journal of Instructional Technology and Distance Learning, 2005, [http://www.itdl.org/Journal/Jan\\_05/article01.htm](http://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm).
36. Sugata M. The child-driven education. [En ligne] [http://www.ted.com/talks/sugata\\_mitra\\_the\\_child\\_driven\\_education.html](http://www.ted.com/talks/sugata_mitra_the_child_driven_education.html) sur ted.com. [vidéo]
37. Association Française des Industriels du Numérique de l'Education et de la Formation. Assises de l'éducation et de la formation numériques 2010 [En ligne] <http://henriverdier.blogspot.com/2010/04/lintegrale-de-la-conference-de-sugata.html> [vidéo].
38. Downes S. What Connectivism Is. Half an hour. 2007 [En ligne] <http://halfanhour.blogspot.com/2007/02/what-connectivism-is.html>.
39. Kirschner PA. Cognitive load theory: implications of cognitive load theory on the design of learning. Learn Instruct. 2002; 1: 1-10.
40. Bellier S. Le e-learning. Paris: Liaisons; 2001.
41. Haute Autorité de Santé. Evaluation et amélioration des pratique: Guide de E- learning. 2015 [En ligne] [http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2015-09/guide\\_e-learning\\_rapport\\_complet.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2015-09/guide_e-learning_rapport_complet.pdf).
42. Guillaume M et De Biasi M. Cahiers de médiologie n° 4 : Pouvoirs du papier, Paris : Gallimard ; 1997.
43. Ruiz JG, Mintzer MJ, Leipzig RM. The impact of e-learning in medical education: Acad Med. Mars 2006; 81 (3):207-12.
44. Zehry K, Halder N, Theodosiou L. E-Learning in medical education in the United Kingdom. Procedia - Soc Behav Sci. 2011;15:3163-7.
45. Carré P. L'autoformation accompagnée en APP ou les sept piliers revisités. Saint-Denis-La-Plaine: Centre Inffo; 2014. [En ligne] <http://www.pratiques-de-la-formation.fr/etutorat/data/downloads/7pillierscarre.pdf>.
46. Bersin J. The Blended Learning Book: best practices, proven methodologies, and lessons learned. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons; 2004.
47. Communication de la commission au conseil et au parlement européen : plan d'action e-Learning, penser l'éducation de demain. 2001. [En ligne] <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2001/FR/1-2001-172-FR-F1-1.Pdf>

48. Gilliot J-M. Différents types de MOOCs. Techniques innovantes pour l'enseignement supérieur. 12 juin 2012. [En ligne] <https://tipes.wordpress.com/2012/06/12/differents-types-de-moocs/>
49. Eysenbach G. What is e-health? *J Med Internet Res.* Juin 2001;3(2):E20.
50. Marks SC. The role of three-dimensional information in health care and medical education: the implications for anatomy and dissection. *Clin Anat N Y N.* 2000;13(6):448-52.
51. Battulga B, Konishi T, Tamura Y, Moriguchi H. The effectiveness of an interactive 3-dimensional computer graphics model for medical education. *Interact J Med Res.* 9 juill 2012;1(2):e2.
52. Sugand K, Abrahams P, Khurana A. The anatomy of anatomy: a review for its modernization. *Anat Sci Educ.* avr 2010;3(2):83-93.
53. O'Byrne PJ, Patry A, Carnegie JA. The development of interactive online learning tools for the study of Anatomy. *Med Teach.* janv 2008;30(8):e260-71.
54. Rizzolo LJ, Stewart WB. Should we continue teaching anatomy by dissection when ...? *Anat Rec B New Anat.* nov 2006;289B(6):215-8.
55. Temkin B, Acosta E, Hatfield P, Onal E, Tong A. Web-based three-dimensional virtual body structures: W3D-VBS. *J Am Med Inform Assoc.* 1 sept 2002;9(5):425-36.
56. Temkin B, Hatfield P, Griswold JA, et al. Volumetric virtual body structures. *Medicine meets virtual reality: 10 Digital Upgrades: Applying Moor's Law to Health, January 23-26, 2002.*
57. Dertouzos M. *The Unfinished Revolution.* New York: Harper Collins, 2001.
58. Hoffman H, Murray M. *Anatomic VisualizeR: Realizing the vision of a VR-based learning environment.* *Med Meets Virtual Reality* 1999; 7:134-40.
59. Brian D. *Visible Human Browser: integrating digital anatomy for biomedical research and education.* [En ligne] <http://vhp.med.umich.edu>.
60. Gold Standard multimedia [En ligne] <http://imc.gsm.com/demos/xademo/xademo.html>.
61. AnatLine [En ligne] <http://anatline.nlm.nih.gov/>.
62. NPAC/OLDA Visible Human Viewer [En ligne] <http://www.dhpc.adelaide.edu.au/projects/vishuman2/index.html>.
63. Tam MD, Hart AR, Williams SM, Holland R, Heylings D, Leinster S. Evaluation of a computer program ('disect') to consolidate anatomy knowledge: A randomised-controlled trial. *Med Teach.* janv 2010;32(3):e138-42.
64. Venail F, Deveze A, Lallemand B, Guevara N, Mondain M. Enhancement of temporal bone

anatomy learning with computer 3D rendered imaging softwares. *Med Teach.* juill 2010;32(7):e282-8.

65. Gangata H. An innovative approach to supplement the teaching of the spatial gross anatomy relationships of muscles to undergraduates in health sciences. *Clin Anat N Y N.* mai 2008;21(4):339-47.

66. Silén C, Wirell S, Kvist J, Nylander E, Smedby O. Advanced 3D visualization in student-centred medical education. *Med Teach.* juin 2008;30(5):e115-124.

67. Crossingham JL, Jenkinson J, Woolridge N, Gallinger S, Tait GA, Moulton C-AE. Interpreting three-dimensional structures from two-dimensional images: a web-based interactive 3D teaching model of surgical liver anatomy. sept 2009;11(6):523-8.

68. Venail F, Deveze A et al. Enhancement of temporal bone anatomy learning with computer 3D rendered imaging softwares. *Med Teach.* 2010; 32.

69. Mayer RE. Applying the science of learning: evidence-based principles for the design of multimedia instruction. *Am Psychol.* 2008 ; 63: 760-769.

70. IP3S Lille, Canal U. Le crânio-face dans tous ses états. 2012 [En ligne]  
[https://www.canalu.tv/video/canal\\_u\\_medecine/ip3s\\_lille\\_2012\\_le\\_cranio\\_face\\_dans\\_tous\\_ses\\_etats.11528](https://www.canalu.tv/video/canal_u_medecine/ip3s_lille_2012_le_cranio_face_dans_tous_ses_etats.11528).

71. Glass NE, Kulaylat AN, Zheng F, et al. A national survey of educational resources utilized by the Resident and Associate Society of the American College of Surgeons membership. *Am J Surg.* 2015;209:59-64.

72. Rapp AK, Healy MG, Charlton ME, Keith JN, Rosenbaum ME, Kapadia MR. YouTube is the most frequently used educational video source for surgical preparation. *J Surg Educ.* nov 2016;73(6):1072-6.

73. Alexa: The top 500 sites on the web. How popular is youtube.com? Available at: <http://www.alexa.com/siteinfo/youtube.com>; 2016.

74. Fischer J, Geurts J, Valderrabano V, Hugle T. Educational quality of YouTube videos on knee arthrocentesis. *J Clin Rheumatol.* 2013;19:373-376.

75. Larouche M, Geoffrion R, Lazare D, et al. Mid-urethral slings on YouTube: quality information on the internet? *Int Urogynecol J.* 2016; 27 (6)

76. Marieb E. *Human Anatomy and Physiology.* 5<sup>th</sup>. San Francisco: Pearson Education; 2001.

77. Deubel P. An investigation of behaviorist and cognitive approaches to instructional multimedia design. *J Educ Multimed Hypermed* 2003; 12(1)63–90.

78. Macromedia. (n.d.). Flash Professional [En ligne]  
<http://www.macromedia.com/software/flash/flashpro/> (retrieved April 15, 2006).

79. Anderson LW, Krathwohl DR. *A taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision*

of bloom's taxonomy of educational objectives. New York: Longman; 2001.

80. Brenner E, Maurer H, Moriggi B, Pomaroli A. General educational objectives matched by the educational method of a dissection lab. *Anat Anat* 2003;185: 229e30.

81. Collins JP. Modern approaches to teaching and learning anatomy. *Br Med J.* sept 2008 ;337:a1310.

82. de Barros N, Rodrigues CJ, Rodrigues AJ, de Negri Germano MA, Cerri GG. The value of teaching sectional anatomy to improve CT scan interpretation. *Clin Anat N Y N.* 2001;14(1):36-41.

83. Bowman A, Lawson C, McKillup S. The use of real time ultrasound scanning as a teaching method of anatomy in an undergraduate sonography and medical imaging degree in an Australian university. *Radiography.* févr 2016;22(1):e75-9.

84. Ivanusic J, Cowie B, Barrington M. Undergraduate student perceptions of the use of ultrasonography in the study of « living anatomy ». *Anat Sci Educ.* déc 2010;3(6):318-22.

85. ter Haar Romeny BM, Zuiderveld KJ, Van Waes PF et al. Advances in three-dimensional diagnostic radiology. *J Anat* 1998;193(Pt 3):363–371.

86. Rengier F, Doll S, Kirsch J et al. Radiological virtual anatomy course for first-year medical students: is there an additional benefit to traditional dissection course? *Clin Anat.* 2008; 21:834.

87. Rengier F, Doll S, von Tengg-Kobligk H, Kirsch J, Kauczor H-U, Giesel FL. Integrated teaching of anatomy and radiology using three-dimensional image post-processing. *Eur Radiol.* déc 2009;19(12):2870-7.

88. Henn JS, Lemole GM, Jr, Ferreira MA, Gonzalez LF, Schornak M, Preul MC and Spetzler R. Interactive stereoscopic virtual reality: A new tool for neurosurgical education: Technical note. *J. Neurosurg.* 2002; 96:144-149.

89. IZARD SG, Juanes Méndez JA, Palomera PR. Virtual reality educational tool for human anatomy. *J Med Syst* [Internet]. mai 2017; 41(5). [En ligne] <http://link.springer.com/10.1007/s10916-017-0723-6>

90. Nichols, S., and Patel, H., Health and safety implications of virtual reality: A review of empirical evidence. *Appl. Ergon.* 2002;33:251-271.

91. Aman S. Low cost virtual reality for medical training. *IEEE Xplore Virtual Reality.* 2015. [En ligne] <https://ieeexplore.ieee.org/document/7223437/authors#authors>.

92. Kizony, R., and Katz, N., Adapting an immersive virtual reality system for rehabilitation. *J Vis Comput Animat.* 2003;14:261–268.

93. Gagne R, Bridggs L, Wager W. Principles of Instructional Design.4. Forth Worth: Harcourt Brace Jovanovich; 1992.

94. Université Claude Bernard Lyon 1. Institut des sciences et techniques de la réadaptation.

- [En ligne] <http://anatomie3d.univ-lyon1.fr/webapp/website/website.html?id=3346735>.
95. UNESCO. Ressources éducatives libres [En ligne] <https://fr.unesco.org/themes/tic-education/rel>.
96. Université Claude Bernard Lyon 1. Institut des sciences et techniques de la réadaptation. Nos objectifs. Janv 2019. [En ligne] <http://spiralconnect.univ-lyon1.fr/webapp/website/website.html?id=3346735&read=true&pageId=223206>.
97. CIDMEF Libreville. 2011. Enseigner l'anatomie avec la technologie 3D [En ligne] [https://www.canalu.tv/video/canal\\_u\\_medecine/cidmef\\_libreville\\_2011\\_enseigner\\_l\\_anatomie\\_avec\\_la\\_technologie\\_3d.7405](https://www.canalu.tv/video/canal_u_medecine/cidmef_libreville_2011_enseigner_l_anatomie_avec_la_technologie_3d.7405).
98. Dent J, Harden RM. A practical guide for medical teachers. Netherlands: Elsevier Health Sciences; 2013.
99. Galanek J, Gierdowski D, Brooks C. ECAR Study of Undergraduate Students and Information Technology, oct 2018. [En ligne] <https://www.educause.edu/ecar/research-publications/ecar-study-of-undergraduate-students-and-information-technology/2018/introduction-and-key-findings>
100. El-hussein M. O. M., and Cronje J. C. Defining mobile learning in the higher education landscape research method. *Technol Soc* 2010;13:12–21.
101. Vavoula N, McAndrew P. A Study of Mobile Learning Practices. 29 mars 2005. [En ligne] [https://lra.le.ac.uk/bitstream/2381/33326/5/d4.4v1.0\\_.pdf](https://lra.le.ac.uk/bitstream/2381/33326/5/d4.4v1.0_.pdf)
102. Atlas d'anatomie humaine 2019 : Corps entier en 3D Visible BodyMédecine PEGI 3PEGI 3. [En ligne] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.visiblebody.atlas&hl=en>
103. Raney, M. A. Dose- and time-dependent benefits of iPad technology in an undergraduate human anatomy course. *Anat Sci Educ*. 2016; 9(4):367-77
104. Briz-Ponce et al. Effects of mobile learning in medical education: a counterfactual evaluation. *Med Systems*. 2016;40(6):136.
105. Lepp A, Barkley JE, Karpinski AC. The Relationship Between Cell Phone Use and Academic Performance in a Sample of U.S. College Students. *SAGE Open*. mars 2015;5(1).
106. Lewis, T. L., Burnett, B., Tunstall, R. G., and Abrahams, P. H. Lewis, T. L., Burnett, B., Tunstall, R. G., and Abrahams, P. H. Complementing anatomy education using three-dimensional anatomy mobile software applications on tablet computers. *Clin. Anat*. 2014. 27(3):313–320.
107. DG Education et culture, Commission Européenne, rapport : Le e-learning dans la formation professionnelle continue, en particulier sur le lieu de travail, ciblant les Petites et Moyennes Entreprises ([http://ec.europa.eu/education/archive/elearning/doc/studies/vocational\\_educ\\_fr.pdf](http://ec.europa.eu/education/archive/elearning/doc/studies/vocational_educ_fr.pdf)).
108. Spitzer VM, Scherzinger AL. Virtual anatomy: an anatomist's playground. *Clin Anat N Y*

N. avr 2006;19(3):192-203.

109. Parker LM. What's wrong with the dead body? Use of the human cadaver in medical education. *Med J Aust.* janv 2002;176(2):74-6.

110. Wiet GJ, Schmalbrock P, Powell K, Stredney D. Use of ultra-high-resolution data for temporal bone dissection simulation. *Otolaryngol-Head neck surg.* déc 2005;133(6):911-5.

111. Wiecha J, Barrie N. Collaborative online learning: a new approach to distance CME. *Acad Med;* 2002; 77:928-29.

112. Tam MDBS, Hart AR, Williams S, Heylings D, Leinster S. Is learning anatomy facilitated by computer-aided learning? A review of the literature. *Med Teach.* janv 2009;31(9):e393-6.

113. Maloney S, Haas R, Keating JL, Molloy E, Jolly B, Sims J, et al. Breakeven, cost benefit, cost effectiveness, and willingness to pay for web-based versus face-to-face education delivery for health professionals. *J Med Internet Res.* avr 2012;14(2):e47.

114. Petersson H, Sinkvist D, Wang C, Smedby O. Web-based interactive 3D visualization as a tool for improved anatomy learning. *Anat Sci Educ.* avr 2009;2(2):61-8.

115. McKendree J. E-learning. Chapter in understanding medical education: evidence, theory and practice. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell; 2010.

116. Prensky M. Digital natives, digital immigrants. *On the horizon.* Oct 2001;9(5).

117. Thibault F, Albero B et al. Les universités européennes à l'heure du e-learning : regards sur la Finlande, l'Italie et la France, Direction générale pour l'enseignement et la culture. Initiative E-learning. 2006. [En ligne] <https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00194332/document>

118. Association GRIEPS, Cazellet L. Place et usage des TIC dans la formation continue des professionnels de santé. Synthèse d'une étude relative à un état des lieux. Sainte-Foy-lès-Lyon: Association GRIEPS; 2009. [En ligne] [http://www.grieps.fr/files/enquete/Article\\_eLearning2009.pdf](http://www.grieps.fr/files/enquete/Article_eLearning2009.pdf).

119. Forum français de la formation ouverte et à distance. Financement et mise en œuvre de la FOAD. Vademecum des bonnes pratiques. Paris: FFFOD; 2011. [En ligne] <http://www.fffod.fr/media/20111004-vademecum.pdf>.

120. Isaac H. L'université numérique, Rapport à Madame Valérie Pécresse, ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. 2008. [En ligne] [http://media.education.gouv.fr/file/2008/08/3/universitenumérique\\_22083.pdf](http://media.education.gouv.fr/file/2008/08/3/universitenumérique_22083.pdf).

121. Fried MP, Uribe JI, Sadoughi B. The role of virtual reality in surgical training in otorhinolaryngology. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* juin 2007;15(3):163-9.

122. O'Leary SJ, Hutchins MA, Stevenson DR, Gunn C, Krumpholz A, Kennedy G, et al. Validation of a networked virtual reality simulation of temporal bone surgery. *Laryngoscope.* juin 2008;118(6):1040-6.

123. Groupe Demos e-learning Agency. Etude blended learning et tutorat. 2008-2009. [En ligne] [https://www.demos.fr/sites/demos.fr/files/resources/Etude\\_eLearning.pdf](https://www.demos.fr/sites/demos.fr/files/resources/Etude_eLearning.pdf)

124. Kern D, Thomas P, Howard D et Bass E. Curriculum Development for Medical Education: a six-step approach. Baltimore: Johns Hopkins University Press; 1998.

125. Gibbons A, Fairweather P. Computer-based instruction. In: Tobias S, Fletcher J (eds). Training & Retraining: A handbook for business, industry, government, and the military. New York: Macmillan Reference USA; 2000.

126. Chumley-Jones HS, Dobbie A, Alford CL. Web-based learning: sound educational method or hype? A review of the evaluation literature. Acad Med. Oct 2002;77(Suppl):S86-93.

**RENARD (Lorraine).** – Différents types de supports numériques dans l'apprentissage de l'anatomie cervico-céphalique. –78f. ;ill. ;tabl. ; 126 ref. ; 30cm (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2019)

#### RESUME

Depuis quelques années, la société a vu se développer un certain nombre de supports numériques pouvant servir à l'apprentissage de l'anatomie cervico céphalique. Cette évolution relance le débat concernant les techniques actuelles (dissections, modèles 2D) en offrant la possibilité d'un support tridimensionnel interactif et accessible.

La complexité de ces supports est très variée, allant du simple cours disponible en ligne, à des logiciels de réalité virtuelle. Leurs objectifs complètent ceux de l'enseignement classique en proposant une amélioration de la vision tridimensionnelle et de l'indépendance de l'étudiant dans son apprentissage.

Bien que de plus en plus évoluées, ces techniques sont en constante amélioration et restent encore perfectibles.

En effet, les avantages de ces supports sont démontrés par de nombreuses études mais des limites à leur mise en place et à leur utilisation existent encore.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Odontologie

#### MOTS CLES MESH :

Technologie de l'éducation-Educational technology

Enseignement à distance-Education, distance

Enseignement assisté par ordinateur- Computer-assisted instruction

Imagerie tridimensionnelle-Imaging, three-dimensional

#### JURY

Président : Professeur Giumelli B.

Directrice : Docteur Jordana F.

Assesseur : Docteur Enkel B.

Assesseur : Docteur Kimakhe S.

#### ADRESSE DE L'AUTEUR :

Lorraine RENARD

93 rue Fleurie – 37540 St CYR SUR LOIRE

lorraine.renard@yahoo.fr